

TUGAS AKHIR
(KL 1702)

STUDI PENGARUH GEOMETRI *TRIPOD*
TERHADAP KEKUATAN STRUKTUR



| PERPUSTAKAAN I T S | |
|-----------------------|--------------|
| Tgl. Terima | 9 - 8 - 2000 |
| Terima Dari | H |
| No. Agenda Prp. | 21 - 16 43 |

RSKQ
627.98
Fit
s-1
2000

Oleh :

SUSI FITRIANI
NRP. 4395 100 044

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000



**STUDI PENGARUH VARIASI GEOMETRI *TRIPOD*
TERHADAP KEKUATAN STRUKTUR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui / Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
NIP. 131 782 038



Dosen Pembimbing II,



Ir. Yoyok Setyo Hadiwidodo
NIP. 132 133 976

ABSTRAK

Penulisan tugas akhir ini dilatarbelakangi oleh keinginan penulis untuk mendapatkan referensi mengenai respon berbagai geometri **tripod** terhadap indeks struktural (payload/depth^2).

Variasi geometri tripod yang telah ditentukan (tipe-I yaitu tripod-skirtpile support, tipe-II yaitu tripod-single batter, dan tipe-III yaitu tower tripod) tidak mengalami perubahan rasio kerampingan (kL/r) pada struktur chord utamanya.

Aktivitas penelitian dimulai dengan pemberian beban gelombang yang dihitung berdasarkan data perairan di Kepulauan Natuna-Laut Cina Selatan dan beban vertikal berupa berat total sebesar 5000 ton sampai 15000 ton. Selanjutnya dengan menggunakan software Msc-Nastran diperoleh respon struktur akibat pembebanan meliputi displacement, tegangan yang bekerja pada elemen batang dan rasio interaksi tegangan. Disamping itu akan didapatkan juga tegangan majemuk yang dialami struktur-struktur tersebut.

Tegangan yang diperoleh dibandingkan dengan kriteria kekuatan yang direkomendasikan oleh API-RP2A berdasarkan material ASTM A36 yang mempunyai tegangan yield ijin 280 MPa.

Dari hasil analisa respon struktur didapatkan bahwa struktur tipe tower-tripod memberikan respon yang paling baik dengan rasio interaksi 0.9596 pada indeks struktural 0.0199 Mpa, sedangkan tipe tripod-skirtpile support rasio interaksinya 0.9614 pada indeks struktural yang sama. Tipe tripod-single batter menghasilkan rasio interaksi sebesar 0.9184 pada indeks struktural yang lebih kecil yaitu 0.0153, untuk indeks struktural yang sama struktur tripod tipe ini sudah tidak layak lagi.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, hanya karena petunjuk dan hidayah'Mu Ya Allah, penulis bisa menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul "*Studi Pengaruh Geometri Tripod terhadap Kekuatan Struktur*" dengan sebaik-baiknya. Penulis tidak lupa pula menyampaikan shalawat beserta salam kepada junjunganku Rasulullah Muhammad SAW dan kepada seluruh keluarga dan sahabat beliau, semoga mereka ditempatkan dalam dimensi yang terbaik disisi Allah SWT.

Penulisan penelitian ini didasarkan pada keinginan penulis untuk mendapatkan suatu data mengenai pemilihan geometri struktur anjungan lepas pantai, yang dalam hal ini struktur *tripod*.

Penulis menyadari sebenar-benarnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Sebagai seorang manusia penulis menyadari akan segala kelemahan dan keterbatasan diri, karenanya penulis ingin menyampaikan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada siapa saja yang telah ikut berperan/membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada :

1. "Apa" Bakri dan "Ama" Murni yang begitu agung cinta kasihnya tercurah kepada penulis serta tulusnya do'a yang selalu setia dimohonkan kepada'Nya untuk penulis.
2. Kedua saudariku tersayang, Ni Via dan Dek Ira "karak", keponakanku Fanny tercinta yang selalu memberikan rasa bahagia serta Da Mantou yang selalu memperhatikan penulis. Terimakasih atas do'anya.

3. Bapak Ir. D. Muhammad Rosyid Ph.D dan Ir. Yoyok S. Hadiwidodo selaku Dosen Pembimbing yang dengan segala kesabaran dan keikhlasannya membimbing, membantu penyediaan referensi, fasilitas penulisan dan penelitian serta mengarahkan penulis selama penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Eko B. Djatmiko selaku Dosen Wali yang telah membimbing dan mengarahkan serta membantu kelancaran studi penulis selama ini.
5. Kepada Dr. Ir. P. Indiyono dan Dr. Ir. Wahyudi selaku Ketua dan Wakil Ketua Jurusan Teknik Kelautan beserta seluruh staf dosen yang telah memberikan bimbingan dan ilmunya kepada penulis sampai akhirnya penulis bisa menyelesaikan studi.
6. Mas Pri, Cak No, dan Pak Teguh selaku staf karyawan di Jurusan Teknik Kelautan yang telah banyak membantu kelancaran administrasi penulis selama ini.
7. Kepada seluruh staf BAAK Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
8. Sahabatku seperjuangan Johana "Joe" Indra Prasasti yang selama ini selalu setia dan selalu memberikan dorongan kepada penulis bahkan disaat-saat kritis.
9. Teman-temanku Royke 'Kodil' Santosa dan Adriansyah 'Todi' Sinaga yang selama ini telah membantu dan memberikan dukungan moril kepada penulis mulai dari masa perkuliahan sampai terselesaikannya tugas akhir ini. Terimakasih atas persahabatan kita selama ini dan semoga untuk selamanya.
10. Semua teman-teman laut angkatan '95 dan '94 yang telah memberikan semua yang mereka bisa bantu. Terimakasih. I'll never forget all of you, guys.

11. Anak-anak Lab. Operation & Research; Bang Daryono "Om dendy" yang selalu siap sedia membantu penulis, Uton yang belain ikut meleak, Ondi yang selalu usil, Azhar yang selalu tersenyum, Oon yang 'upil, Hanif Gonip (awas belakang!), Hercules, Bagus yang menghibur dengan dangdutnya, Anam "krucil", Chiqki, Ochim, Iyok Anang yang ngerjain tugas, Umar yang membelikan makanan & minuman dengan *traktor*, Kojaq, Mas Nanang, Yusuf yang membukakan pintu yang terkunci, Eko P'tex dan semua teman-teman yang ikut meleak-an di *Operation Research Laboratory*.
12. Mahmud, makasih atas pinjaman CPU-nya, Ewok yang meminjamkan referensi API, Doni Catur, Yogi, dan DJ, yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materil. Mbak Rini dan bang Udi yang selalu memompakan "semangat" untuk terus menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
13. Agus dan Rita yang meminjamkan printer.
14. Mas Teguh di Bontang yang selalu mendo'akan dan memberikan dorongan semangat kepada penulis.
15. Semua teman di kost Keputih IIC-4 (Naim, Ni Eva, Ami, Rurin, Mbak Endah, Mbak Lili), Henny "henos", Yenny, Fitri "Oom", Azam, bang Yani, bang Syahrial, terimakasih atas doa'nya.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu di sini, dengan tidak mengurangi rasa hormat.

Hanya seuntai do'a semoga Allah membalas segala kebaikan dengan kebaikan yang berlipat ganda atas segala bantuan yang telah diberikan. Semoga tulisan sederhana ini bermanfaat, dan jika masih terdapat kelemahan dan kesalahan-kesalahan, kritik dan saran penulis harapkan. Terimakasih.

Surabaya, Mei 2000

Susi Fitriani

Kupersembahkan Tugas Akhir Ini Kepada :

Ibunda dan Ayahnda Tercinta

Ama Murni & Apa Bakri Biran

Saudariku Tersayang

Ni Phia dan Dek Ira Savitri

*“ Kasih sayang yang tulus dari mereka yang saling mencintai
akan memberikan kekuatan kepada mereka yang ada di dalamnya.
Do'a dari mereka lebih berharga daripada jutaan mutiara di dasar laut”*

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| Lembar Pengesahan | i |
| Abstrak | ii |
| Kata Pengantar | iii |
| Daftar Isi | vi |
| Daftar Tabel | ix |
| Daftar Gambar | x |
| Daftar Lampiran | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | I-1 |
| 1.1. Latar Belakang | I-1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | I-3 |
| 1.3. Tujuan | I-3 |
| 1.4. Batasan Masalah | I-4 |
| 1.5. Manfaat | I-6 |
| 1.6. Metodologi Penelitian | I-6 |
| 1.7. Sistematika Penulisan | I-8 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | II-1 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | II-1 |
| 2.2. Landasan Teori Gelombang | II-5 |
| 2.2.1. Teori Gelombang | II-5 |
| 2.2.2. Perhitungan Panjang Gelombang | II-7 |
| 2.2.3. Perhitungan Beban Gelombang | II-8 |
| 2.3. Teori Pemodelan Kerangka <i>Jacket</i> | II-10 |
| 2.4. Beban Operasional | II-11 |
| 2.5. Teori Metode Elemen Hingga sebagai Dasar Analisa Statis | II-14 |
| 2.5.1. Prosedur Perhitungan Lendutan pada Struktur | II-15 |
| 2.6. Perhitungan Tegangan | II-21 |
| 2.6.1. Tegangan Normal (Aksial) | II-21 |



| | | | |
|-----|-----|--|-------|
| | | 2.6.2. Tegangan Geser | II-23 |
| | | 2.7. Tegangan Ijin | II-24 |
| | | 2.7.1. Tegangan Tarik | II-24 |
| | | 2.7.2. Tegangan Tekan | II-24 |
| | | 2.7.3. Tegangan Tekuk | II-25 |
| | | 2.7.4. Tegangan Geser | II-25 |
| | | 2.7.5. Tegangan Torsional | II-25 |
| | | 2.7.6. Tegangan Majemuk Tekan dan Tekuk | II-26 |
| BAB | III | PENENTUAN UKURAN AWAL STRUKTUR <i>TRIPOD</i> | III-1 |
| | | 3.1. Geometri Struktur | III-1 |
| | | 3.2. Penentuan Ukuran Awal Tubular | III-2 |
| | | 3.3. Perhitungan Beban Gelombang | III-5 |
| | | 3.4. Perhitungan Tegangan | III-7 |
| BAB | IV | ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN | IV-1 |
| | | 4.1. Material Struktur | IV-1 |
| | | 4.2. Kriteria Kekuatan dalam API-RP2A | IV-1 |
| | | 4.2.1. Tegangan Tarik Aksial | IV-1 |
| | | 4.2.2. Tegangan Tekan Aksial | IV-2 |
| | | 4.2.3. Tegangan Tekuk | IV-2 |
| | | 4.2.4. Tegangan Geser | IV-3 |
| | | 4.2.5. Tegangan Majemuk Tekan dan Tekuk | IV-4 |
| | | 4.3. Respon Struktur | IV-5 |
| | | 4.4. Pembahasan Hasil Analisa | IV-18 |
| | | 4.4.1. Analisa Gerak Struktur | IV-18 |
| | | 4.4.2. Tegangan Aksial | IV-18 |
| | | 4.4.3. Tegangan Geser dan Tegangan Torsi | IV-19 |
| | | 4.4.4. Tegangan Bending | IV-19 |
| | | 4.4.5. Rasio Interaksi Struktur | IV-20 |

| | | | |
|----------------|------|------------|-----|
| BAB | V | PENUTUP | V-1 |
| | 5.1. | Kesimpulan | V-1 |
| | 5.2. | Saran | V-4 |
| Daftar Pustaka | | | xii |
| Lampiran | | | |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------|---|-------|
| Tabel 2.1. | Mexican Gulf Platform | II-4 |
| Tabel 2.2. | Brazil Platform Campos Basin | II-4 |
| Tabel 2.3. | Harga D/t untuk tiap elemen struktur tubular | II-11 |
| Tabel 3.1 | Data geometri tubular member struktur <i>tripod</i> | III-5 |
| Tabel 3.2 | Koordinat <i>tripod</i> tipe I | III-6 |
| Tabel 3.2 | Koordinat <i>tripod</i> tipe II | III-7 |
| Tabel 3.2 | Koordinat <i>tripod</i> tipe III | III-8 |
| Tabel 4.1. | Tegangan ijin yang direkomendasikan oleh API-RP2A | IV-5 |
| Tabel 4.2. | Indeks struktural terpakai | IV-6 |
| Tabel 4.3.1 | Hasil respon struktur tripod tipe-I | IV-7 |
| Tabel 4.3.2 | Hasil respon struktur tripod tipe-II | IV-8 |
| Tabel 4.3.3 | Hasil respon struktur tripod tipe-III | IV-9 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|--|-------|
| Gambar 1.1. | Bentuk tripod yang dianalisa | I-5 |
| Gambar 1.2. | Diagram alir metodologi penelitian | I-7 |
| Gambar 2.1. | Grafik " <i>Range of Validity Wave Theory</i> " | II-5 |
| Gambar 2.2. | Definisi parameter gelombang | II-6 |
| Gambar 2.3. | Gaya-gaya eksternal yang bekerja pada <i>fixed jacket platform</i> | II-9 |
| Gambar 2.4. | Grafik perkiraan berat kering geladak atas struktur sebagai fungsi dari produksi minyak rata-rata per hari | II-13 |
| Gambar 2.5. | Grafik luas geladak atas sebagai fungsi dari produksi minyak rata-rata per hari | II-13 |
| Gambar 2.6. | Pembebanan aksial pada batang tubular | II-21 |
| Gambar 2.7. | Tegangan aksial akibat kopel | II-22 |
| Gambar 2.8. | Momen puntir pada batang tubular | II-23 |
| Gambar 3.1. | Overhang pada geladak atas struktur | III-2 |
| Gambar 3.2. | Arah datang gelombang | III-6 |
| Gambar 3.3. | Tabel dialog untuk mendefinisikan material struktur | III-8 |
| Gambar 3.4. | Tabel dialog untuk mendefinisikan elemen batang | III-9 |
| Gambar 4.3.1 | Grafik hubungan translasi terhadap indeks struktural | IV-10 |
| Gambar 4.3.2 | Grafik hubungan rotasi terhadap indeks struktural | IV-11 |
| Gambar 4.3.3 | Grafik hubungan tegangan aksial terhadap indeks struktural | IV-12 |
| Gambar 4.3.4 | Grafik hubungan tegangan geser terhadap indeks struktural | IV-13 |
| Gambar 4.3.5 | Grafik hubungan tegangan bending terhadap indeks struktural | IV-14 |
| Gambar 4.3.6 | Grafik hubungan tegangan torsi terhadap indeks struktural | IV-15 |
| Gambar 4.3.7 | Grafik hubungan tegangan majemuk terhadap indeks struktural | IV-16 |
| Gambar 4.3.8 | Grafik hubungan rasio interaksi terhadap indeks struktural | IV-17 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|------------|---|
| Lampiran A | Program panjang gelombang dengan fortran |
| Lampiran B | Program beban gelombang dengan fortran |
| Lampiran C | Deskripsi geometri struktur <i>tripod</i> |
| Lampiran D | Output respon struktur dengan Msc Nastran |
| Lampiran E | Lembar Konsultasi |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi dalam perancangan struktur anjungan lepas pantai membutuhkan inovasi-inovasi baru dalam merumuskan ide bentuk-bentuk struktur yang mungkin bisa dikembangkan untuk menjadi suatu struktur anjungan lepas pantai yang lebih efisien. Tipe struktur terpancang yang paling banyak digunakan saat ini adalah tipe *jacket*. Tipe struktur ini biasanya bervariasi mulai dari jumlah kaki yang digunakan, bentuk *brace* vertikal, kemiringan kaki, pondasi, sistem pile dan bentuk.

Suatu perusahaan minyak yang akan mengeksplorasi ladang minyak bumi terlebih dahulu akan memutuskan bagaimana cara mengembangkan ladang minyak tersebut didasarkan pada pertimbangan teknik dan ekonominya. Sampai saat ini perusahaan-perusahaan minyak (*oil companies*) di Asia Tenggara lebih memilih penggunaan struktur tipe *jacket* dengan 4 kaki dan 3 kaki (*tripod*) yang telah terbukti mampu beroperasi dengan baik dengan lingkungan dan secara ekonomis tidak terlalu memberatkan dalam masalah biaya.

Struktur *jacket* kaki tiga (*tripod*) yang bervariasi mulai dari bentuk, *layout*, sampai dimensi struktur yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan fungsi operasionalnya.

Dalam pemilihan bentuk struktur yang akan digunakan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang merupakan parameter dasar dalam penetapan kriteria perancangan, diantaranya :

1. Kondisi lingkungan
2. Karakter sistem anjungan (meliputi; kondisi tanah, pondasi dan bagaimana bangunan atasnya)
3. Pembebanan dari lingkungan dan gaya yang bekerja pada anjungan
4. Bagaimana gaya dan respon struktur serta perilaku struktur dalam kondisi yang paling *extreme* akibat *overload*
5. Studi keandalan struktur anjungan dan studi biaya.

Sampai saat ini bentuk *tripods* yang masih menjadi andalan adalah tipe *braced jacket* konvensional yang memutuhkan material yang lebih banyak. Namun saat ini telah dikembangkan jenis struktur *tripod* yang hanya terdiri atas beberapa elemen yang sudah banyak digunakan terutama di ladang-ladang minyak bumi kategori *marginal field*.

Dengan semakin bertambahnya kedalaman suatu perairan dimana struktur *jacket* akan dipancang maka diperlukan perubahan juga pada rancangan strukturnya. Begitu juga dengan besarnya kapasitas produksi dari ladang minyak tersebut akan mempengaruhi tipe struktur yang akan digunakan. Tipe anjungan *jacket structures* ini terdiri dari *tubular members* yang menopang struktur deck dan tiang pancang ke dasar laut. Beban dari deck dan lingkungan diteruskan oleh kaki yang diperkuat oleh *bracing-bracing* ke pondasi.

Untuk mengetahui bagaimana respon struktur beberapa bentuk *tripod* maka dalam penelitian ini akan dianalisa tiga bentuk struktur yang mungkin dikembangkan untuk mengembangkan ladang minyak.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh dan perilaku setiap variasi model jacket kaki tiga (*tripod*) terhadap kekuatan struktur.
2. Bagaimana grafik hubungan antara tegangan maksimum (kriteria API RP-2A) tiap struktur terhadap indeks strukturalnya.

$$\sigma_i = \frac{\text{payload}}{D^2}$$

Grafik ini akan didapatkan setelah beberapa kali melakukan *running* perhitungan kekuatan.

1.3 TUJUAN

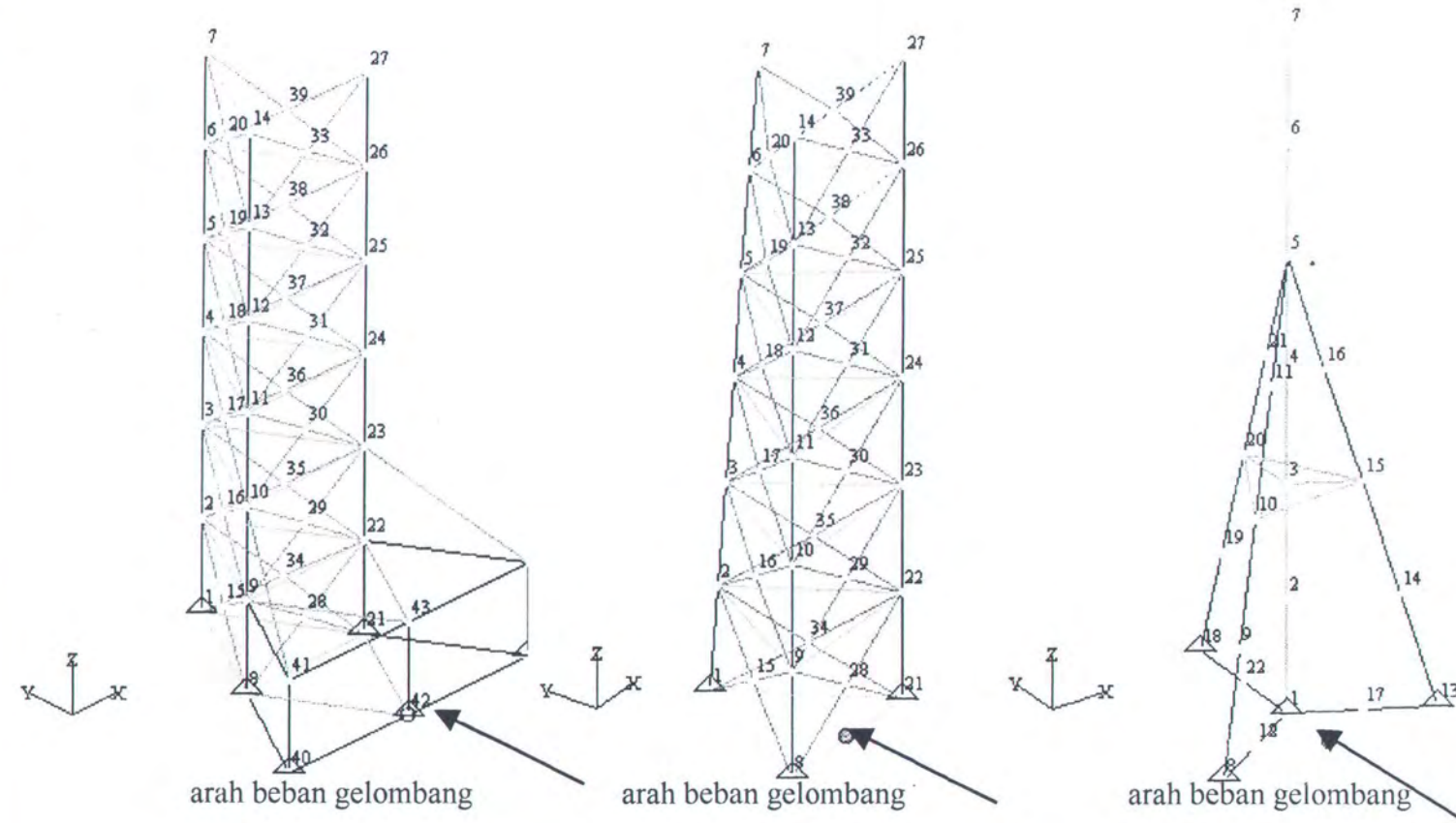
Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh dan perilaku variasi model *tripods* terhadap kekuatan struktur.
2. Membuat grafik hubungan antara tegangan maksimum (kriteria API RP-2A) tiap struktur terhadap indeks strukturalnya.

1.4 BATASAN MASALAH

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah perhitungan maka dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Data perairan yang digunakan adalah di laut Cina Selatan sebagai berikut :
Kedalaman : 80 meter
Tinggi gelombang : 6 meter
Periode gelombang : 11 detik
2. Parameter perancangan yang digunakan yaitu rasio kerampingan (kL/r) dan perbandingan diameter terhadap ketebalan dinding tubular (D/t).
3. Beban yang bekerja pada struktur adalah beban vertikal (*payload*) dan beban dari lingkungan hanya beban akibat gelombang.
4. Struktur berupa *spaceframe* dan kaki dianggap terpancang dengan tumpuan jepit
5. Studi dilakukan terhadap beberapa tiga model *tripod*, yaitu tipe *tripod-skirtpile support*, tipe *tripod-single batter*, dan tipe *tower tripod*.
6. Pada setiap sambungan (*tubular joint*) dianggap tidak ada penebalan pelat (tanpa *cans*).
7. Perhitungan *displacement*, gaya dan moment yang bekerja dilakukan dengan program **NASTRAN**.
8. Kriteria kekuatan struktur dianalisa dengan berdasarkan rekomendasi dari API RP-2A (1993).



Gambar 1.1. Bentuk *tripod* yang dianalisa

1.5 MANFAAT

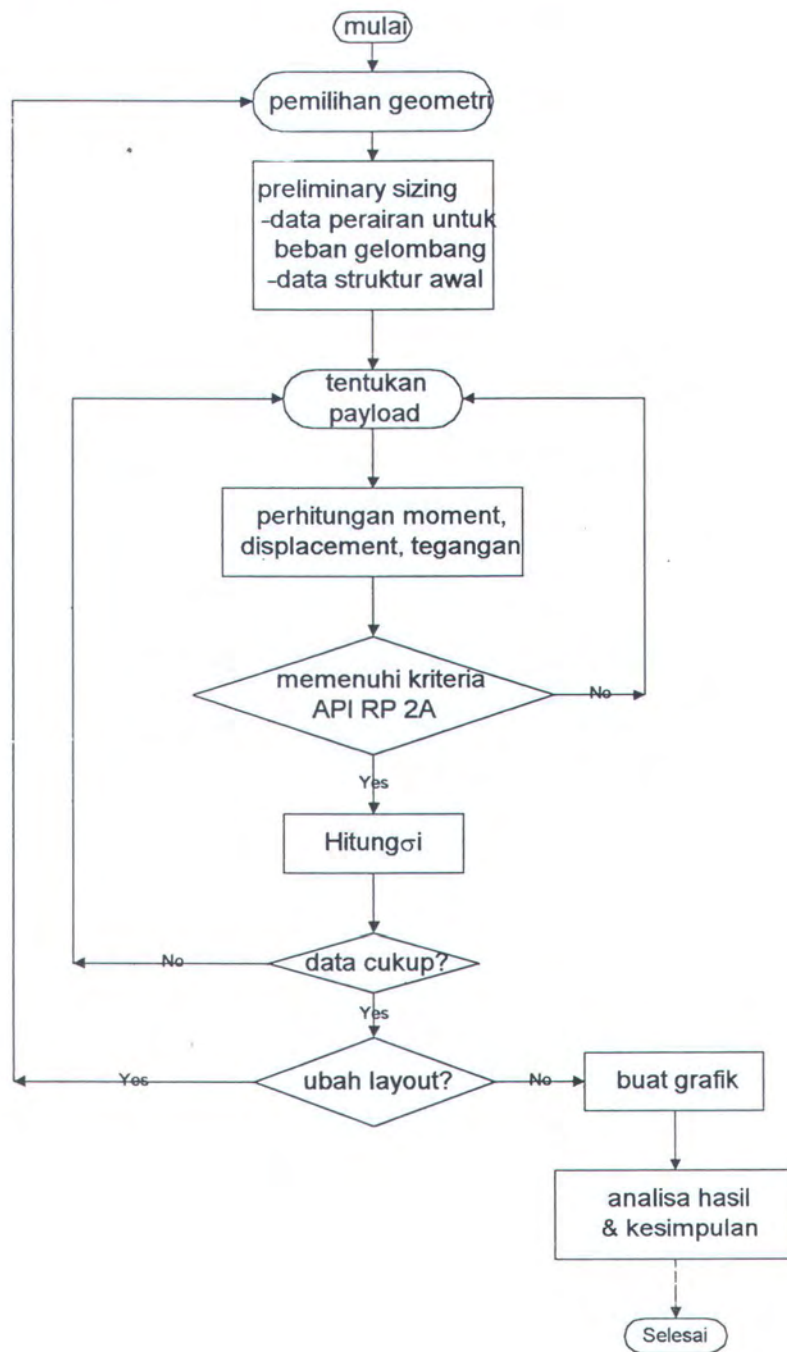
Manfaat yang akan diperoleh adalah adanya suatu rekomendasi perancangan kepada pengambil keputusan dalam melakukan aktivitas awal perancangan struktur *tripod* berdasarkan bentuk –bentuk yang ada. Selain itu dari grafik yang dihasilkan nanti dalam perancangan struktur *tripod* dapat ditentukan berapa tegangan maksimum yang dihasilkan jika mendapatkan pembebanan tertentu.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan penulisan tentang masalah yang diangkat maka akan dirumuskan langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data perairan, data produksi minyak per hari, serta material struktur yang akan digunakan.
2. Menentukan ukuran awal struktur dan pembebanan terhadap struktur
3. Menghitung *displacement*, gaya-gaya yang dihasilkan oleh pembebanan yang terjadi, dan bagaimana tegangan maksimum tiap struktur.
4. Memeriksa tegangan yang terjadi dengan tegangan yang direkomendasikan oleh API RP-2A.
5. Mengulangi lagi langkah memasukkan beban vertikal *payload* yang berbeda sampai tegangan maksimum yang dihasilkan sudah tidak memenuhi tegangan ijin yang direkomendasikan oleh API RP-2A.
6. Mengulangi langkah-langkah di atas untuk bentuk *tripod* yang berbeda.
7. Membuat grafik yang dihasilkan dari perhitungan analisa tegangan struktur dan *displacement* yang terjadi.

Untuk lebih memahami dalam pelaksanaan penelitian maka urutan kegiatan penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 1.2. Diagram alir metodologi penelitian

1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan latar belakang dalam melakukan studi, permasalahan yang akan dipecahkan, tujuan yang ingin dicapai yaitu menyelesaikan permasalahan yang ada, manfaat yang diinginkan penulis, batasan-batasan permasalahan yaitu berupa asumsi-asumsi, metodologi penelitian yang dilakukan serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Dalam penyelesaian masalah dalam laporan tugas akhir ini penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang struktur bangunan lepas pantai yang pernah dilakukan dan beberapa dasar teori yang sesuai. Dasar teori yang digunakan diantaranya adalah dasar teori gelombang, dasar-dasar perancangan struktur lepas pantai, dasar-dasar metode elemen hingga, serta ketentuan dan peraturan mengenai kriteria kekuatan struktur *steel jacket* yang direkomendasikan dalam API RP-2A.

BAB III PENENTUAN UKURAN AWAL

Bab ini menjelaskan penentuan ukuran awal model struktur *tripod* yang akan dianalisa serta perhitungan beban gelombang dan *payload* yang bekerja pada struktur.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menganalisa respon struktur yang telah dilakukan dengan program Msc-Nastran. Pemeriksaan respon struktur disesuaikan dengan kriteria kekuatan struktur *steel jacket* yang direkomendasikan oleh API RP-2A. Setelah hasil pemeriksaan memenuhi kriteria kekuatan, hasil perhitungan tersebut kemudian diplotkan dalam bentuk grafik sehingga dapat dilihat secara jelas bagaimana respon struktur yang terbaik.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penyelesaian permasalahan mengenai respon struktur yang dianalisa dan saran-saran yang seharusnya diperhatikan para pengguna hasil studi ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Selain *tripod jacket-brace* ada juga bentuk tripod lainnya yang hanya terdiri dari beberapa elemen *tubular* seperti jenis *tripods* pertama yang terdiri dari tower yaitu *The Tripods Tower Platform* (TTP) diinstalasi pada tahun 1986 untuk UNOCAL Netherlands Inc. yang beroperasi di daerah laut dalam sekitar 40 km dari sebelah barat Den Heider. Anjungan ini berfungsi sebagai anjungan untuk pengeboran dan produksi (Duncan and Heyden, 1987). Disamping berfungsi sebagai anjungan untuk pengeboran minyak dan produksi di lepas pantai, *tripods* ini juga bisa mempunyai fungsi yang sama dengan *jacket braces* lainnya :

- Sebagai anjungan untuk akomodasi personal dan peralatan
- Anjungan untuk bongkar muat minyak (loading)
- Dan fungsi – fungsi lainnya seperti untuk anjungan pembakaran (flare).

Tripods kemudian dikembangkan untuk pemakaian di perairan dangkal. Disamping itu telah ada tim perusahaan minyak yang telah lebih dari 18 tahun ini mengembangkan rancangan struktur MOSS sampai tahap instalasi yaitu CBS Engineering, Inc. yang berpusat di Texas, Amerika.

Lay-out (tata letak) *tripods* bisa bermacam-macam tergantung dari bentuk dan jumlah bracing yang digunakan, *batter leg* (kemiringan kaki), geometri kaki, jumlah *level frame* (bracing horizontal), *spacing frame* (jarak antar kaki) dan lain-

lainnya (Drawe, 1986). Pemilihan tata letak ini akan dipengaruhi oleh beban total arah vertikal (*pay load*), beban lingkungan serta gejala alam yang mungkin seperti gempa bumi.

Dalam perancangan *tripods* analisa terhadap kriteria kekuatan dilakukan dengan memeriksa tegangan yang terjadi pada komponen-komponen struktur tersebut. Apabila tegangan yang timbul masih di atas tegangan ijinnya, maka perlu dilakukan perubahan pada ukuran awal komponen struktur tersebut sedemikian sehingga,

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{ijin}}$$

Suatu rancangan dikatakan memenuhi kriteria kekuatan apabila tegangan pada setiap titiknya lebih kecil atau sama dengan tegangan ijin di titik tersebut (API 1980). Rancangan *tripods* tersebut harus mampu mendukung beban yang bekerja padanya baik dari arah vertikal maupun arah lateral serta beban gempa yang bisa terjadi tiba-tiba.

Proses perancangan merupakan proses yang berulang dan berlangsung secara kontinyu sesuai diagram spiral perancangan (Rosyid, 1996). Salah satu yang menjadi tahapan penting dalam spiral perancangan tersebut adalah pengembangan konsep struktur anjungan lepas pantai meliputi jenis, tata letak, dan geometri struktur. Pemilihan konsep struktur merupakan tahapan pertama yang amat penting bagi keberhasilan struktur anjungan untuk melakukan fungsi utamanya.

Pemilihan konsep struktur dilakukan pada tahap perancangan konseptual. Tahap ini memiliki potensi penghematan terbesar bila dibandingkan dengan tahapan perancangan yang lebih hilir (Rosyid, 1996).

Selanjutnya, pemilihan konsep struktur ini akan diikuti dengan pemakaian metode indeks struktural yang cukup umum seperti yang terdapat dalam *preliminary member sizing* pada *jacket structure* (Hsu, 1984). Dalam metode analisis dimensional (Shanley, 1956), dinyatakan indeks struktural memegang peranan penting dalam mengukur tingkat penyaluran beban. Selanjutnya indeks struktural juga digunakan pada struktur anjungan lepas pantai khususnya *jacket structure*.

Adapun indeks struktural yang digunakan berupa $\sigma_{si} = P/d^2$ dimana σ_{si} , P, dan d, berturut-turut adalah *indeks struktural*, *payload*, dan kedalaman perairan (Rosyid, 1993).

Menurut Rosyid (1993) perancangan struktur *jacket* (model *truss*) berdasarkan metode dimensional dapat dinyatakan dalam kurva desain praktis dengan beberapa parameter masukan seperti statistik kekuatan dan statistik pembebanan serta keandalan sistem yang diinginkan untuk suatu lokasi operasi. Selanjutnya kurva ini dapat memfasilitasi pemilihan *layout* dengan lebih efisien dibanding dengan aktivitas awal dalam perancangan suatu *layout*.

Beberapa parameter masukan yang dapat dijadikan pertimbangan dalam melakukan perancangan adalah pembebanan vertikal dan kedalaman seperti yang terlihat pada tabel 2.1. dan tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.1. Mexican Gulf Platform

| P. N. | Platform Name | WEIGHT (t) | | | | Load Deck (t) | d (m) |
|-------|--------------------|------------|------|-------|-------|---------------|-------|
| | | Jacket | Deck | Pile | Total | | |
| 16. | East Cameron 35533 | 989 | | | | | 94 |
| 17. | West Cameron 643 | 1401 | | | | | 111 |
| 18. | Cerveza | 23600 | | 9900 | 33500 | 7550 | 285 |
| 19. | Miss. Canyon 63 | 5125 | | | | | 146 |
| 20. | East Cameron 359 | 1880 | | | | | 101 |
| 21. | West Cameron 463 | 2914 | | | | | 132 |
| 22. | Garden Banks | 10540 | | | | | 209 |
| 23. | Miss. Canyon 148 | 13600 | | | | | 198 |
| 24. | Cognac | 33500 | 2500 | 16000 | 52000 | 5900 | 312 |
| 25. | West Cameron 638 | 1384 | | | | | 107 |
| 26. | Homdo | 10900 | | | 19000 | | 259 |
| 27. | Cerveza Ligera | 19000 | | 5200 | 24200 | 3650 | 282 |

Sumber: Consideration Regarding The Design of Offshore Platforms
dalam **Offshore Structures Engineering**, hal. 627

Tabel 2.2. Brazil Platforms Campos Basin.

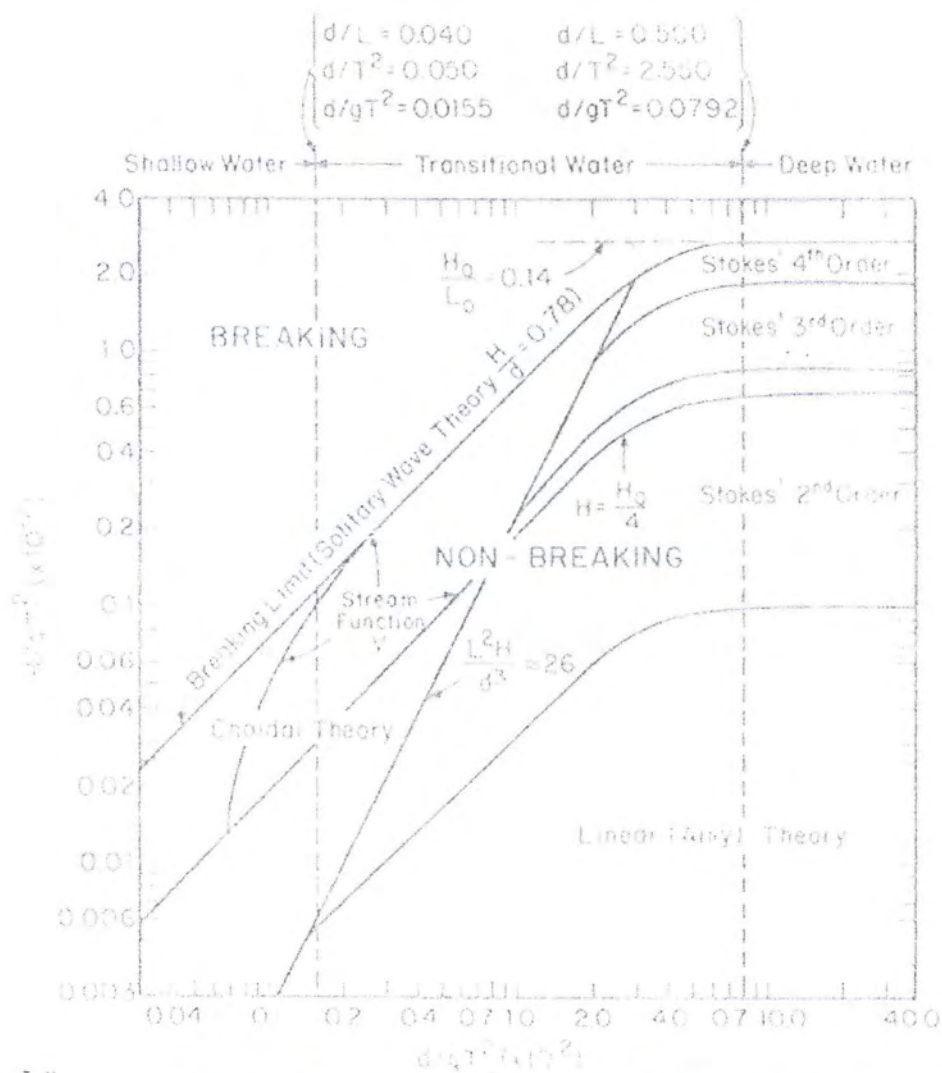
| P. N. | Platform Name | WEIGHT (t) | | | | Load Deck (t) | D (m) |
|-------|---------------|------------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| | | Jacket | Deck | Pile | Total | | |
| 1. | Garoupa | 989 | 8850 | 4135 | 14285 | 14116 | 120.5 |
| 2. | Namorado I | 1401 | 13350 | 8000 | 22950 | 20756 | 145.5 |
| 3. | Namorado II | 23600 | 15283 | 10517 | 28200 | 14420 | 170.5 |
| 4. | Cherne I | 5125 | 11723 | 7746 | 21218 | 18530 | 117 |
| 5. | Cherne II | 1880 | 16735 | 6750 | 25095 | 17116 | 142 |
| 6. | Enchova I | 2914 | 15300 | 7300 | 22600 | 20600 | 116 |
| 7. | Pampo I | 10540 | 10809 | 4748 | 17178 | 24100 | 111 |
| | Carapeba | 13600 | | | | | |
| 8. | Bicudo | 33500 | | | | | |
| 9. | Bonito 1 | 1384 | 23457 | 8900 | 33957 | 22000 | 202 |
| 10. | Bonito 2 | 10900 | 17719 | 6700 | 25319 | 15000 | 202 |
| 11. | 3a F 90 m | 19000 | 7000 | 5870 | 14400 | 6365 | 90 |
| 12. | 3a F 120 m | | 9600 | 7070 | 18200 | 6365 | 120 |
| 13. | 3a F 150 m | | 12112 | 7758 | 21400 | 6365 | 150 |
| 14. | Carapeba I | | 6633 | 4357 | 12520 | 6365 | 90 |
| 15. | Carapeba II | | 4361 | 3773 | 9664 | 6365 | 90 |

Sumber: Consideration Regarding The Design of Offshore Platforms
dalam **Offshore Structures Engineering**, hal. 628

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Teori Gelombang

Dalam perhitungan beban gelombang, maka teori gelombang yang digunakan disesuaikan dengan grafik validitas teori gelombang (gambar 2.1) yang berdasrkan parameter H/gT^2 dan d/gT^2 (chakrabarti, 1987).

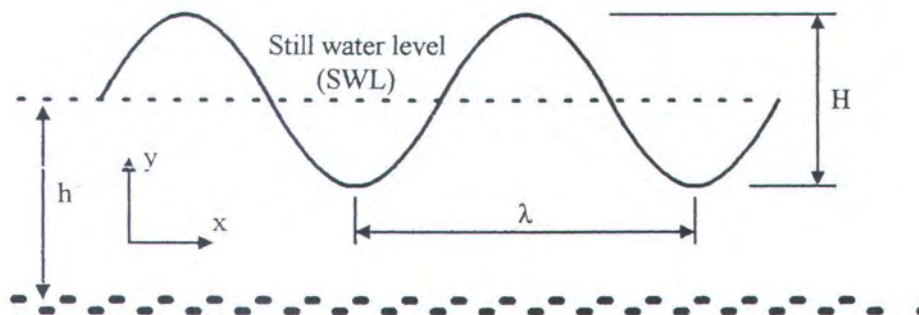


Gambar 2.1. Grafik Range of Validity Wave Theory

(Chakrabarty, 1987)

Dalam studi ini teori gelombang yang akan digunakan adalah teori gelombang linier *Airy* (*Airy wave theory*). Teori gelombang ini sangat berguna dalam analisis awal proses perancangan. Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang dianggap sangat kecil dibanding dengan panjang gelombang dan kedalaman perairan.

Teori gelombang *Airy* mampu menggambarkan gerakan gelombang secara sederhana. Teori ini mengasumsikan bentuk gelombang berupa sinusoidal dimana tinggi gelombang (H) lebih kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang (λ) dan kedalaman air (h).



Gambar 2.2. Definisi parameter gelombang (Dawson, 1983)

Teori gelombang ini sangat berguna dalam proses perancangan pada analisa awal. Teori ini didasarkan pada mengasumsi bahwa tinggi gelombang dianggap sangat kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman perairan. Kecepatan vertikal dan horisontal partikel fluida dapat dihitung dengan persamaan :

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \sin \theta \quad (2.2)$$

Percepatan vertikal dan horisontal partikel fluida dihitung dengan persamaan :

$$\frac{du}{dt} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta \quad (2.3)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cos \theta \quad (2.4)$$

Profil vertikal permukaan gelombang :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \theta \quad (2.5)$$

Beberapa pendekatan yang digunakan :

$$\text{Deep water} \quad \frac{\cosh ks}{\sinh kd} = \frac{\sinh ks}{\sinh kd} = e^{ky} \quad (2.6)$$

$$\text{Shallow water} \quad \frac{\cosh ks}{\sinh kd} = \frac{1}{kd} \quad (2.7)$$

$$\frac{\sinh ks}{\sinh kd} = 1 + \frac{y}{d} \quad (2.8)$$

2.2.2 Perhitungan Panjang Gelombang

Perhitungan panjang gelombang pada perairan tertentu secara teoritis dapat dihitung dengan rumusan berikut :

$$L_o = gT^2/2\pi \quad (2.9)$$

Untuk memperkecil kesalahan yang mungkin terjadi maka dilakukan beberapa kali iterasi sampai errornya 0,0001.

$$k = 2\pi/L_o \quad (2.10)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kd) \quad (2.11)$$

2.2.3 Perhitungan Beban Gelombang

Beban gelombang yang bekerja merupakan penjumlahan dari gaya-gaya yang timbul, yaitu *drag force*, *inertia force* dan *Froude-Krylov force*. Dengan menggunakan pendekatan maka suku non-linier (*drag force*) dapat dijumlahkan secara langsung dengan suku linier (*inertia force* dan *Froude-Krylov force*).

Dimana $|u|u$ (non-linier) $\approx \sqrt{\frac{8}{\pi}} u_{rms} u$ (linier). Suku $|u|u$ disini dipakai karena

beban gelombang ini adalah besaran vektor yang mempunyai arah. Maka untuk analisa beban gelombang selanjutnya digunakan persamaan sebagai berikut

[Morison (1950)] yang berlaku apabila $D/L < 0,2$:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho D |u|u \quad (2.12)$$

$$F_i = C_m \rho A \ddot{u} \quad (2.13)$$

$$F = F_i + F_d = \frac{1}{2} C_d \rho D |u|u + C_m \rho A \ddot{u} \quad (2.14)$$

dimana : C_d = Koefisien drag.

C_m = Koefisien inersia.

ρ = Massa jenis air laut (kg/m^3).

D = Diameter silinder (m).

A = Luasan penampang (m^2).

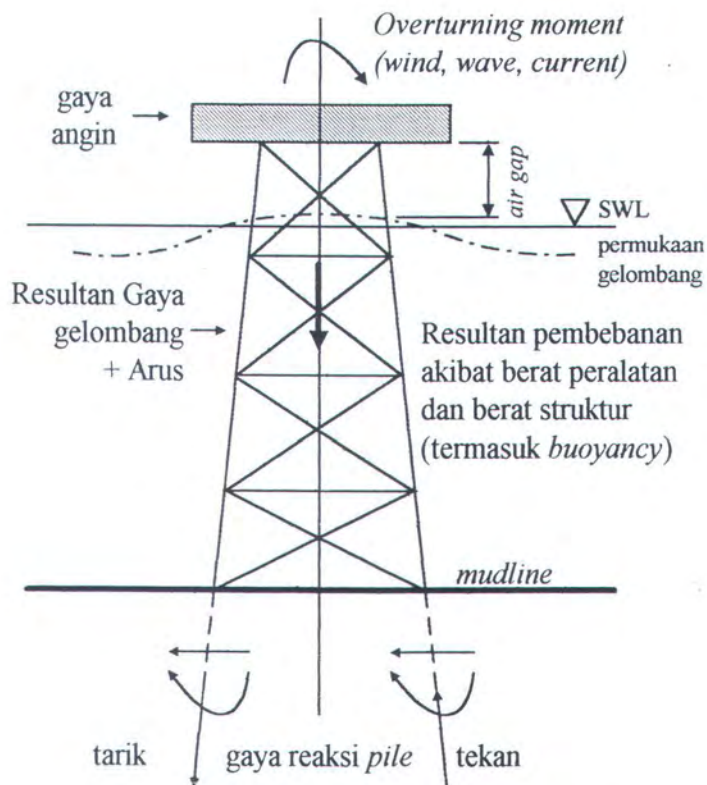
u = Kecepatan horisontal partikel fluida (m/dt).

\ddot{u} = Percepatan horisontal partikel fluida (m/dt^2).

\ddot{u} = Percepatan horisontal partikel fluida (m/dt^2).

Dari ketentuan-ketentuan yang berlaku pada teori gelombang tersebut, kemudian dilakukan analisa terhadap kondisi perairan dari lokasi *fixed offshore structure* tersebut untuk memperoleh besarnya kecepatan dan percepatan vertikal dan horisontal.

Dalam perancangan maka beban rancang diidentifikasi berdasarkan pembebanan yang memberikan dampak terburuk terhadap kekutan struktur tersebut. Pada gambar berikut ini dapat dilihat gaya-gaya luar yang bekerja pada struktur *tripod*.



Gambar 2.3. Gaya-gaya eksternal yang bekerja pada *Fixed Jacket Platform*

2.2.2 KERANGKA JACKET

Perkiraan ukuran awal rangka *tubular* struktur *jacket* didekati dengan harga-harga dari perbandingan berikut :

- angka kerampingan (*slenderness ratio*) yang dirumuskan dengan

$$\frac{kL}{r} \quad (2.15)$$

dimana: k = *Buckling length factor*.

L = Panjang elemen.

r = Jari-jari girasi.

Besarnya harga k berkisar antara 0,5 - 2 sedangkan besarnya harga $\frac{kL}{r}$

berkisar antara 70 - 90 atau untuk harga kL/r awal digunakan 110. Jari-jari girasi untuk silinder berdinding tipis adalah 0,35D.

- perbandingan diameter dan ketebalan (*diameter wall to thickness ratio*) yang dirumuskan dengan :

$$\frac{D_{average}}{t} \quad (2.16)$$

Besarnya harga perbandingan $\frac{D}{t}$ berkisar antara 19 - 90. Bila harga D/t *ratio*

ini mendekati 70, maka harus dilakukan pemeriksaan terhadap *local buckling* yang kemungkinan dapat terjadi.

Untuk kondisi-kondisi tertentu maka besarnya *slenderness ratio* dan D/t *ratio* dapat disesuaikan dengan kebutuhan perancangan. Harga perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3. Harga D/t untuk tiap elemen struktur *tubular*

| Obyek | D/t |
|-------------------------|---------|
| Jacket Leg (ungrouted) | 45 |
| Jacket Leg Connection | 30 - 35 |
| Jacket Brace | 40 - 60 |
| Jacket Brace Connection | 35 - 40 |
| Deck Leg | 35 - 40 |
| Deck Truss Brace | 35 - 45 |

Langkah-langkah untuk menentukan ukuran *jacket brace* adalah sebagai berikut :

1. Penentuan *slenderness ratio* dan *D/t ratio* dengan asumsi $k = 0,8$.
2. Pemilihan diameter *brace* berdasarkan *slenderness ratio*.
3. Pemilihan ketebalan dinding *brace* berdasarkan dan *D/t ratio*.
4. Pemeriksaan terhadap masalah hidrostatik yang menyebabkan *buckling* dimana $250/d^{1/3} > D/t$ dimana d adalah kedalaman perairan.

2.2.3 BEBAN OPERASIONAL

Pembebanan gravitasi terhadap struktur lepas pantai dapat dikelompokkan menjadi

1. Berat kering (*Dry Weight*)
2. Berat operasional (*Operational Weight*)
3. *Lift Weight*
4. *Test Weight*

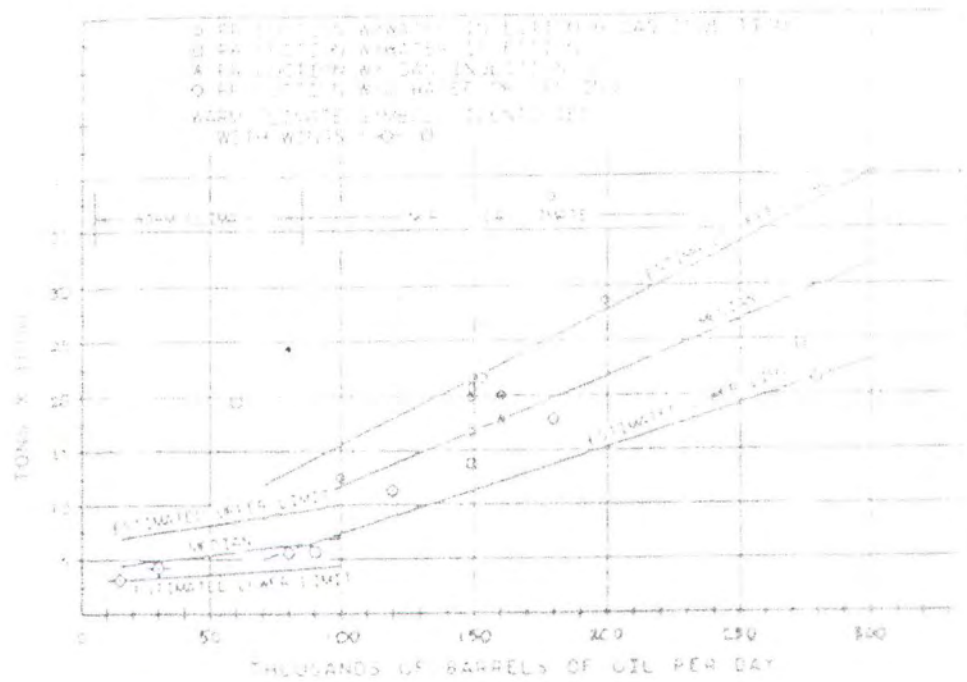
Berat kering merupakan berat yang dihitung pada saat fabrikasi dan dapat dibedakan atas :

1. Berat peralatan utama
2. Bulks
3. Berat material geladak

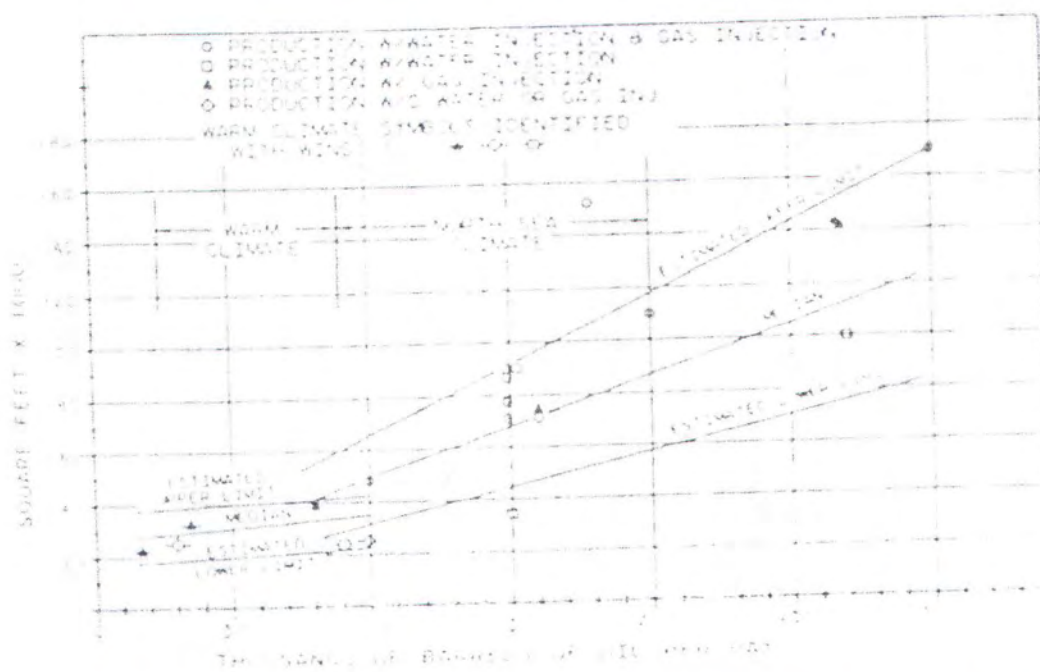
Beban operasional merupakan beban yang berasal dari fluida yang terdapat dalam tanki /storage tank, atau fluida yang mengalir pada pipa-pipa.

Untuk menghitung berat kering geladak atas maka data yang diperlukan adalah berapa luas dan berat geladak yang dapat diperoleh dengan menggunakan grafik-grafik di bawah ini yang merupakan fungsi dari *oil production rate*.

Dengan mengetahui BOPD anjungan tersebut maka dapat diperoleh luas geladak dan berat struktur yang dibutuhkan. Berat yang diperoleh adalah berat kering, sedangkan berat operasional dari struktur adalah 1,3 -1,35 dari berat kering struktur. Sedangkan luasan dari geladak digunakan untuk menentukan dimensi dari geladak. Perencanaan selanjutnya dapat menggunakan bentuk bujur sangkar atau persegi panjang sesuai dengan luasan dari geladak yang telah diperoleh.



Grafik 2.3. Grafik Perkiraan berat kering geladak atas struktur sebagai fungsi dari produksi minyak rata-rata perhari. (Drawe, W.J. 1986)



Grafik 2.4. Grafik luas geladak atas sebagai fungsi dari produksi minyak rata-rata perhari. (Drawe, W.J. 1986)

2.2.4 TEORI METODE ELEMEN HINGGA SEBAGAI DASAR ANALISA STATIS

Penyelesaian suatu permasalahan dalam bidang rekayasa umumnya menghasilkan ekspresi / model matematik yang melibatkan kondisi batas (boundary condition), sifat material, ketidaklinieran dan sebagainya, sehingga jarang sekali model matematis untuk masalah-masalah teknik yang bisa diselesaikan secara analitis. Keadaan inilah yang memaksa *engineer* menggunakan analisa numerik yang kendatipun hasilnya hanya bersifat pendekatan tetapi dianggap cukup dapat diterima. Perhitungan lendutan dan tegangan di sepanjang elemen *space-frame* adalah salah satu masalah teknik yang cukup populer dalam bidang rekayasa lepas pantai.

Pendekatan-pendekatan numerik ini, berdasarkan sifatnya selalu menggunakan informasi-informasi pada *joint*. Proses penentuan *joint* ini disebut *discretization*. Salah satu caranya adalah dengan membagi suatu sistem menjadi bagian-bagian atau elemen-elemen yang lebih kecil. Pemecahan masalah kemudian dilakukan pada elemen-elemen kecil ini, yang selanjutnya digabungkan kembali sehingga didapatkan pemecahan masalah secara keseluruhan. Metode ini dikenal dengan *finite elemen method* atau metode elemen hingga.

Pada bab ini akan diuraikan proses perhitungan lendutan dengan metode elemen hingga pada elemen-elemen struktur *jacket* dan penjelasan ringkas tentang NASTRAN yang merupakan suatu paket program untuk memecahkan masalah-masalah teknik di lapangan. Paket program ini menggunakan metode elemen

hingga dalam analisa dan perhitungannya, sehingga sangat membantu dalam proses analisa struktur.

2.2.4.1 Prosedur perhitungan lendutan pada struktur

Pada prinsipnya metode elemen hingga memperlakukan suatu sistem sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang digabungkan satu sama lain oleh titik-titik yang disebut *joint/node*.

Fungsi yang sederhana umumnya dipilih untuk mendekati distribusi atau variasi lendutan yang sesungguhnya pada tiap elemen tersebut. Fungsi yang harus memenuhi syarat-syarat tertentu itu disebut dengan *displacement function* atau *displacement model*. Hasil yang diinginkan seperti besar lendutan, dihitung pada *joint*, sehingga hasil akhir yang diperoleh adalah harga pendekatan dari lendutan pada lokasi-lokasi diskret dari sistem yang diselidiki, yaitu pada *nodes-point*-nya tersebut.

Untuk fungsi *displacement*-nya, bisa dipilih fungsi polinomial atau fungsi trigonometri, atau juga beberapa fungsi sederhana yang lain. Umumnya digunakan polinomial karena fungsi ini mudah dimanipulasi secara matematis. Secara ringkas prosedur analisa lendutan dan tegangan dengan metode elemen hingga adalah seperti pembahasan berikut ini.

Pendiskritan dari sistem yang dianalisa

Ini adalah proses dimana sistem yang dianalisa dibagi menjadi bagian-bagian kecil. Beberapa usaha telah dilakukan untuk membagi elemen-elemen ini secara otomatis., akan tetapi dalam banyak hal tergantung kecakapan individu

yang melakukan analisa, termasuk misalnya menentukan model apa yang akan digunakan sebagai elemennya dan berapa jumlah serta dimensinya yang dianggap memenuhi syarat untuk suatu masalah tertentu.

Pendiskritan ini merupakan tahap yang penting, karena dalam praktek suatu sistem umumnya sangat kompleks dan besar, sehingga untuk keperluan analisa dengan metode elemen hingga hanya bagian-bagian tertentu yang dianggap perlu saja yang akan diselidiki.

Struktur *jacket* yang terdiri dari *chord* dan *brace* adalah suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *space-frame*. Elemen *space frame* sebenarnya adalah gabungan dari dua macam elemen, yaitu elemen *truss* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi. Pengasumsian ini didasarkan pada pembebanan dan lendutan yang akan terjadi pada elemen *space frame* tersebut.

Elemen *truss* adalah elemen yang akan mengalami pembebanan dan lendutan pada arah aksial (pada arah sumbu elemen) sedang elemen *beam* akan mengalami pembebanan, lendutan dan momen ke arah lateral.

Elemen *chord* dan *brace* pada struktur *jacket* akan mengalami pembebanan dari segala arah (aksial dan lateral) dalam ruang sehingga elemen *chord* dan *brace* tersebut akan mengalami lendutan dan momen ke segala arah pula. Jadi pendekatan model elemen yang paling baik untuk elemen *chord* dan *brace* ini adalah gabungan antara elemen *truss* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi atau *space frame*.

Pemilihan model lendutan

Walaupun hanya bersifat pendekatan akan tetapi pemilihan model lendutan ini harus tetap memenuhi ketentuan pokok tertentu. Sebagai contoh, derajat dari fungsi polinomial yang umum digunakan sebagai model lendutan dipilih/dibatasi atas dasar pertimbangan-pertimbangan praktis, karena pendekatan akan menjadi eksak kalau derajat polinomial yang digunakan adalah tak terhingga, dan hal ini tentu saja tidak mungkin. Model paling sederhana yang sering digunakan adalah polinomial linier. Berikut ini adalah bentuk umum dari polinomial yang biasa digunakan:

$$u(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 + \dots + \alpha_n x^n \quad (2.17)$$

Bentuk polinomial ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut:

$$\{u\} = [\phi]\{\alpha\} \quad (2.18)$$

Dimana:

$\{u\}$ = Matriks model lendutan

$[\phi]$ = Matriks koordinat masing-masing simpul

$\{\alpha\}$ = Matriks koordinat umum

Kemudian antara lendutan dan simpul dengan koordinat umum dihubungkan dengan persamaan matriks berikut:

$$\begin{aligned} \{q\} &= [A]\{\alpha\} \quad \text{atau} \\ \{\alpha\} &= [A]^{-1}\{q\} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Substitusi persamaan (2.19) ke persamaan (2.18) menghasilkan persamaan matriks yang menyatakan hubungan antara model lendutan (u) dan vektor lendutan simpul (q) dalam bentuk:

$$\{u\} = [\phi][A]^{-1}\{q\} \quad (2.20)$$

Fungsi yang menghubungkan model lendutan dan vektor lendutan simpul di atas disebut fungsi bentuk (shape function). Notasinya adalah seperti di bawah ini:

$$[N] = [\phi][A]^{-1} \quad (2.21)$$

Fungsi bentuk merupakan dasar pembentuk matriks kekakuan dan gaya simpul ekuivalen.

Penurunan Matriks Kekakuan Elemen

Kekakuan pada dasarnya menghubungkan displacement pada *joint* dengan gaya-gaya luar yang bekerja pada *joint* tersebut. Analisa struktur dengan metode energi mengharuskan struktur hanya menerima beban yang bekerja pada titik-titik simpul. Namun pada kondisi pembebanan yang sebenarnya, seperti beban gelombang pada struktur *jacket*, gaya umumnya terdistribusi secara merata sepanjang elemen. Agar syarat di atas terpenuhi, maka beban merata tersebut harus diubah bentuknya menjadi beban terpusat lain yang sebenarnya pada struktur, seperti berat anjungan/bangunan atas, maka akan didapat gaya simpul gabungan. Gaya simpul gabungan inilah yang digunakan dalam analisa pada struktur *jacket* dengan metode energi. Hubungan di atas dinyatakan dengan persamaan matriks keseimbangan statis, dalam bentuk sebagai berikut:

$$[K]\{q\} = \{Q\} \quad (2.22)$$

Dimana:

$[K]$ = matriks kekakuan

$\{q\}$ = matriks vektor lendutan simpul

$\{Q\}$ = matriks vektor dari gaya simpul gabungan

Lendutan yang diperoleh pada tiap elemen ini adalah lendutan yang ditinjau dari sumbu koordinat lokal atau koordinat elemen. Untuk masalah-masalah yang sederhana matriks kekakuan bisa ditentukan dengan menggunakan azas keseimbangan, namun hal tersebut sulit diterapkan pada masalah atau sistem yang sedikit kompleks. Penurunan matriks kekakuan untuk analisa lendutan pada struktur *jacket* ini menggunakan metoda energi. Matriks kekakuan dipengaruhi pada tiga hal yaitu model lendutan yang dipakai, geometri dari elemen-elemennya dan sifat material elemen.

Karena sifat material ini bisa berbeda-beda untuk setiap elemen, maka metode ini memungkinkan untuk dipakai pada sistem atau struktur yang terdiri dari bermacam-macam material yang berbeda sifatnya.

Assembly atau penggabungan dari elemen-elemen

Proses ini didasarkan pada anggapan kontinuitas pada *joint* yang menghubungkan satu elemen dengan elemen yang lain. Pada proses ini persamaan yang dihasilkan adalah seperangkat persamaan aljabar simultan. Untuk masalah teknik yang riil (sistem yang terdiri dari banyak elemen) ukuran matriksnya akan besar sekali dan hampir tidak mungkin untuk diselesaikan secara manual.

Disinilah peran komputer dengan kecepatan tinggi mutlak diturunkan. Persamaan global yang harus diselesaikan dalam proses penggabungan elemen ini adalah:

$$[K]\{r\} = \{R\} \quad (2.23)$$

Dimana:

$[K]$ = matriks kekakuan global

$\{r\}$ = matriks vektor lendutan untuk seluruh sistem yang dianalisa

$\{R\}$ = matriks pembebanan global

Matriks kekakuan dan pembebanan global pada persamaan tersebut adalah matriks kekakuan dan pembebanan lokal yang sudah ditransformasikan ke dalam koordinat global atau koordinat struktur. Jadi dalam proses penggabungan elemen ini perlu didefinisikan terlebih dahulu matriks transformasi atau matriks rotasinya.

Perhitungan lendutan dari persamaan aljabar simultan

Setelah persamaan global dan kondisi batasnya dapat dihubungkan, maka persamaan aljabar simultan tersebut segera dapat diselesaikan untuk mendapatkan besarnya lendutan. Untuk persamaan linier hal ini mudah diselesaikan, tetapi untuk yang nonlinier tidaklah mudah, sehingga beberapa metode bantu untuk memodifikasi persamaan, digunakan untuk maksud tersebut, sehingga mempercepat proses manipulasi yang dilakukan komputer.

2.2.5 PERHITUNGAN TEGANGAN

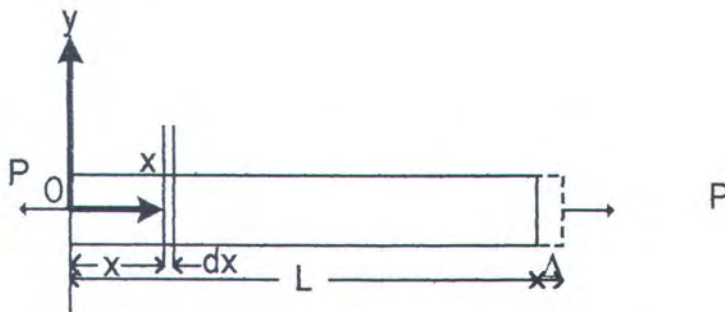
Perhitungan pada tahap ini disebut *post processing*, karena sebenarnya masalah metode elemen hingga hanya sampai sampai pada proses perhitungan lendutan saja, dengan kata lain tujuan utama dari perhitungan dengan metode elemen hingga ini adalah mendapatkan harga lendutan.

Tegangan menyatakan aksi terbesar yang terjadi secara internal antara elemen-elemen yang berdekatan dalam struktur. Analisis tegangan dengan metode statis ini berdasar pada Hukum *Hooke* yang menganggap bahan bersifat elastis linier, sehingga prinsip superposisi bisa digunakan untuk menggabungkan tegangan akibat berbagai sistem pembebanan.

2.2.5.1 Tegangan normal/aksial (*axial Stress*)

Pada gambar 2.5, batang mengalami pembebanan aksial akibat gaya tarik P . Akibat gaya ini, batang akan mengalami tegangan aksial sebesar:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{dengan} \quad A = \text{Luas penampang lintang} \quad (2.24)$$

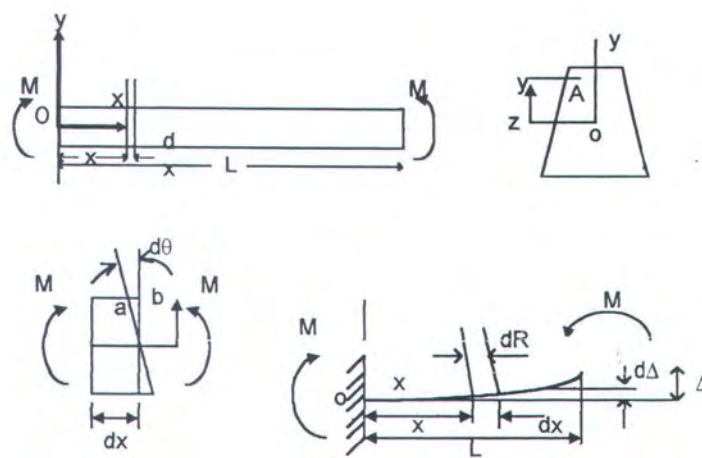


Gambar 2.4. Pembebanan aksial pada batang tubular

Selain akibat gaya aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi di setiap ujungnya (gambar 2.5). Tegangan yang terjadi akibat momen ini dikenal sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (2.25)$$

dimana y adalah jarak dari sumbu netral ke sembarang titik A pada penampang (gambar 2.5) dan I_z adalah momen inersia bidang penampang melintang terhadap sumbu z .

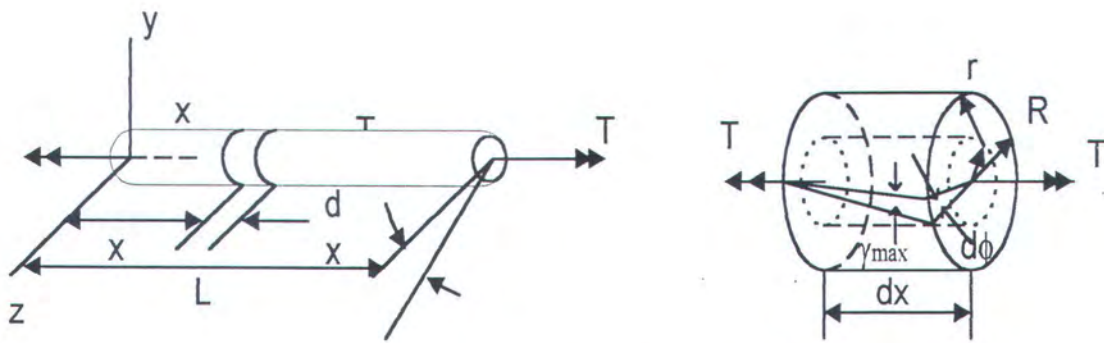


Gambar 2.5. Tegangan aksial akibat kopel

Interaksi antara kedua jenis tegangan aksial di atas dalam kaitannya dengan superposisi antara kedua jenis tegangan aksial tersebut, menghasilkan koreksi pada besar tegangan lentur. Pengurangan besar tegangan lentur akibat adanya tegangan tarik dapat diabaikan tetapi penambahan besar tegangan lentur akibat terbentuknya tegangan *buckling* yang disebabkan oleh tegangan aksial tekan, perlu diperhatikan.

2.2.5.2 Tegangan geser.

Batang penampang bulat juga akan mengalami tegangan geser walau besarnya tidak terlalu berarti. Penyebab paling besar terjadinya tegangan geser pada elemen penampang bulat seperti *leg* struktur *jacket*, adalah momen puntiran aksial (*axial torque*). Pada gambar 2.6., tampak batang tubular dengan panjang L , mengalami pembebanan momen puntir T di kedua ujungnya.



Gambar 2.6. Momen puntir pada batang tubular

Tegangan geser maksimum akan terjadi di permukaan luar batang dan dihitung dengan rumus :

$$\tau = \frac{T.R}{J} \quad (2.26)$$

dimana J adalah momen inersia polar penampang lingkaran (in^4), T adalah momen torsi yang terkonsentrasi (kip-in), dan R adalah jari-jari penampang batang

Adapun nilai momen inersia polar J adalah (Rokach, 1991):

$$J = \frac{\pi}{2} (R_o^4 - R_i^4) \quad \text{untuk } \textit{circular ring} \quad (2.27)$$

$$J = \frac{\pi}{2} R^4 \quad \text{untuk round bar} \quad (2.28)$$

Tegangan geser yang bekerja pada penampang lintang lingkaran dan R adalah jari-jari penampang batang. Tegangan geser yang bekerja pada penampang lintang lingkaran selalu berarah tengensial (tegak lurus jari-jari) dan mempunyai arah yang sama dengan momen puntir.

2.2.6 TEGANGAN IJIN

Tegangan ijin yang berlaku pada struktur *jacket* akan dihitung berdasarkan API-RP2A (*Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms*).

A. Tegangan tarik (*axial tension*)

$$F = 0.6 F_Y \quad (\text{MPa}) \quad (2.29)$$

F_Y adalah tegangan *yield*

B. Tegangan tekan (*axial compression*) - *column buckling*

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2.C_c^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8.C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8.C_c^3}} F_y \quad \text{untuk } Kl/r < C_c \quad (2.30)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23.(Kl/r)^2} \quad \text{untuk } Kl/r \geq C_c \quad (2.31)$$

$$C_c = \left[\frac{2\pi^2 E}{F_y} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.32)$$

C. Tegangan tekuk (*bending*) – dalam SI

$$F_b = 0,75 F_y \quad \text{untuk } D/t \leq 10340/F_y \quad (2.33)$$

$$F_b = [0,84 - 1,74 \cdot F_y D / E_t] F_y \quad \text{untuk } 10340/F_y < D/t \leq 20680/F_y \quad (2.34)$$

$$F_b = [0,72 - 0,58 \cdot F_y D / E_t] F_y \quad \text{untuk } 20680/F_y < D/t \leq 300 \quad (2.35)$$

D. Tegangan geser (*shear*)

- tegangan geser *beam* maksimum:

$$f_v = \frac{V}{0,5} \text{ (MPa)} \quad (2.36)$$

V = gaya geser memanjang (MN)

A = luas (m²)

- tegangan geser *beam* ijin:

$$F_v = 0,4 F_y \quad (2.37)$$

E. Tegangan geser torsional

- tegangan geser torsional maksimum:

$$f_{vt} = \frac{M_t (D/2)}{I_p} \quad (2.38)$$

f_{vt} = tegangan torsi geser maksimum, ksi (MPa)

M_t = momen torsi (MN.m)

I_p = momen polar inersia (m⁴)

- tegangan geser torsional ijin:

$$F_{vt} = 0,4 F_y \quad (2.39)$$

F. Tegangan majemuk tekan dan tekuk

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{xb}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.40)$$

apabila $f_a/F_a \leq 0.15$, maka digunakan

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \quad (2.41)$$

BAB III

PENENTUAN UKURAN AWAL

STRUKTUR TRIPOD

3.1 GEOMETRI STRUKTUR

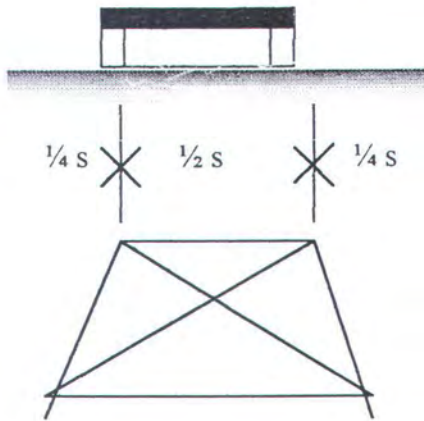
Sebelum menentukan ukuran awal dari struktur maka perlu ditentukan geometri struktur yang akan dianalisa.

Dengan menggunakan grafik 2.1 maka dapat diperoleh luas bangunan atas struktur tripod (*deck*) sebagai fungsi dari laju produksi minyak rata-rata setiap hari. Studi ini mengasumsikan laju produksi minyak setiap hari adalah 100000 *barrel per day* (bopd). Dengan menggunakan estimasi produksi medium maka dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa luas total bangunan atas struktur adalah 5500 ft² (5109,7 m²). Kemudian struktur ini dibagi menjadi dua level sehingga tiap level akan mempunyai luas 2554,8 m². Jika penampang struktur bangunan atas dianggap berbentuk bujursangkar sehingga lebar sisi-sisinya menjadi:

$$S = \sqrt{2558,8 \text{ m}^2} = 50,5 \text{ meter}$$

Jarak antar kaki dari struktur dapat dihitung dengan mengasumsikan *overhang* sebesar $\frac{1}{4} \cdot s$ dari kedua ujung sisi bangunan atas maka jarak antar kaki struktur bangunan atas yang menyambung dengan kaki *deck* atau jarak antar kaki *jacket* dibagian atas dapat diketahui.

$$\begin{aligned}\text{Jarak antar kaki } \textit{tripod} &= \frac{1}{2} \times s \\ &= \frac{1}{2} \times 55,5 \text{ m} \\ &= 27,75 \text{ meter}\end{aligned}$$



Gambar 3.1 *Overhang* pada geladak atas struktur

Jarak antar kaki di bagian atas struktur ini hanya dapat digunakan juga untuk mengetahui jarak antar kaki di bagian bawah atas dasar laur.

Sedangkan untuk *tripod* dengan bentuk yang mempunyai kemiringan kaki dapat ditentukan sesuai dengan kemiringan kaki masing-masing.

Tahap penentuan koordiant simpul struktur *tripod* dapat ditentukan setelah masing –masing tahap penentuan ukuran awal. Berikut penentuan ukuran awal *tripod* masing-masing tipe.

3.2 PENENTUAN UKURAN AWAL TUBULAR

Hampir seluruh rangka struktur anjungan mengalami beban kombinasi tekan dan momen lengkung selama beroperasi di laut. Dengan demikian parameter perancangan yang paling menentukan adalah bagaimana menentukan rasio

kerampingan struktur , $k.L/r$ yang lebih baik. Untuk penentuan ukuran awal struktur penyangga utama, pengalaman dalam perancangan struktur jacket menunjukkan bahwa harga $k.L/r$ antara 80 – 90 menghasilkan hasil yang cukup baik untuk beberapa daerah yang beban hidrodinamisnya besar sedangkan untuk di perairan Indonesia, harga tersebut dapat diperbesar dengan kata lain diperamping sehingga $k.L/r = 100 - 110$. Pada kasus ini harga $k.L/r$ yang digunakan bervariasi dari 80 – 100. Sedangkan untuk harga k yang rekomendasikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) adalah 0,8 tetapi untuk kasus ini harga k yang digunakan juga bervariasi antara 0.8 sampai 1. Harga L yang digunakan adalah panjang komponen kaki (*chord*).

Parameter yang kedua adalah kestabilan penampang sebuah rangka tubular yang dinyatakan dalam rasio *diameter to wall thickness* (D/t) yang berpengaruh pada terjadi atau tidaknya *buckling* lokal. Untuk menentukan besarnya harga t (ketebalan dinding tubular) maka minimum nilai diameter luarnya dengan menggunakan parameter $D/t \text{ brace} = 40 - 60$ dapat dihitung. Komponen kaki *tripod (chord)* tipe – I :

$$\begin{aligned} L &= 84 \text{ m} \\ k &= 0,8 \\ r &= 0,35 \text{ OD} \\ k.L/r &= 100 \\ r &= 0,8 \cdot 84 / 100 \\ &= 0,6720 \text{ m} \\ 0,35.OD &= 0,6720 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 0,6720 / 0,35 \\ &= 1,920 \text{ m} \\ \text{D/t} &= 40 \\ t &= 1,920 / 40 \\ &= 0,0480 \text{ m} \\ \text{ID} &= \text{OD} - t \\ &= 1,920 - 0,0480 \\ &= 1,8720 \text{ m} \\ \text{D}_{\text{rata-rata}} &= (\text{OD} + \text{ID}) / 2 \\ &= (1,920 + 1,872) / 2 \\ &= 1,896 \text{ m} \\ \text{R}_{\text{rata-rata}} &= \frac{1}{2} \times \text{D}_{\text{rata-rata}} \\ &= \frac{1}{2} \times 1,896 \\ &= 0,948 \text{ m} \\ \text{Luas (A)} &= 2 \cdot \pi \cdot \text{R}_{\text{rata-rata}} \cdot t \\ &= 2 \times 3,14 \times 0,948 \times 0,048 \\ &= 0,2859 \text{ m}^2 \\ \text{Inersia (I)} &= \pi \cdot \text{R}_{\text{rata-rata}}^3 \cdot t \\ &= 3,14 \times (0,948)^3 \times 0,048 \\ &= 0,128474 \text{ m}^4 \\ \text{J} &= 0,03125 \cdot \pi \cdot (\text{OD}^4 - \text{ID}^4) \\ &= 0,03125 \times 3,14 \times (1,920^4 - 1,872^4) \\ &= 0,128495 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk komponen lainnya dapat dilihat pada tabel geometri berikut di lampiran. Setelah itu baru ditentukan koordinat simpul masing-masing tipe *tripod* sekaligus koordinat yang akan digunakan untuk perhitungan beban gelombang.

3.3 PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG

Daerah perairan yang dijadikan studi penelitian adalah perairan kepulauan Natuna, Kalimantan Barat dengan data sebagai berikut :

Kedalaman perairan = 84 meter

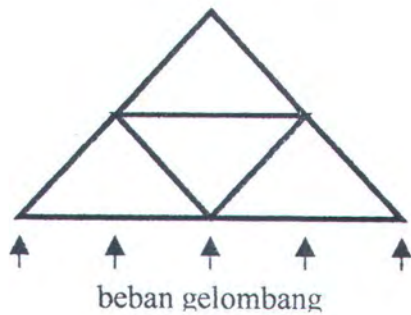
Tinggi gelombang = 6 meter

Periode gelombang = 11 detik

Salah satu asumsi dasar yang digunakan untuk melakukan analisa beban gelombang adalah dengan memperlakukan gelombang sebagai gelombang reguler. Tidak ada penyelesaian gelombang yang dapat berlaku umum secara matematis karena bentuk gelombang pada permukaan laut yang sangat acak sehingga penyelesaiannya pun bersifat pendekatan (*approximation*).

Teori gelombang yang digunakan berdasarkan dari grafik validitas gelombang (gambar 2.1) adalah teori gelombang linier. Hal ini juga dipengaruhi oleh banyaknya terdapat ketidakpastian dalam penyelesaian beban gelombang seperti pada saat pengambilan harga koefisien drag dan koefisien inersia.

Untuk arah datang beban gelombang adalah sejajar sumbu Y positif global karena pada daerah inilah beban gelombang dapat memberi dampak terburuk pada struktur karena struktur hanya ditumpu secara efektif oleh satu kaki.



Gambar 3.2. Arah datang gelombang

Hal pertama yang perlu dilakukan adalah menghitung panjang gelombang secara teoritis yang merupakan fungsi dari kedalaman perairan, tinggi gelombang, dan periode gelombang.

Maka setelah dilakukan iterasi beberapa kali sampai error-nya 0,0001 didapat panjang gelombang (λ) = 187,5645 meter. Sedangkan untuk perhitungan beban gelombang data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut. Untuk menghitung beban gelombang pada *tripod* tipe - I dibutuhkan data sebagai berikut:

| | | |
|------------------------------------|---|----------------|
| Panjang gelombang | = | 187,5645 meter |
| Kedalaman perairan | = | 80 meter |
| Tinggi gelombang | = | 6 meter |
| Periode gelombang | = | 11 detik |
| Jarak antar node pada <i>chord</i> | = | 14 meter |
| Lebar puncak | = | 21,82 meter |
| Lebar alas | = | 21,82 meter |
| Harga C_d | = | 0,65 |
| Harga C_m | = | 2,00 |
| Diameter kaki <i>tripod</i> | = | 1,920 meter |

| | | |
|-------------------------|---|--------------|
| Diameter br. horizontal | = | 0,499 meter |
| Diameter br. diagonal | = | 0,2963 meter |
| Tebal kaki jacket | = | 0,048 meter |
| Tebal br. horizontal | = | 0.011 meter |
| Tebal br. diagonal | = | 0.007 meter |
| Interval waktu | = | 1 detik |

3.4 PERHITUNGAN TEGANGAN

Perhitungan *displacement* dan gaya-gaya yang diperlukan dilakukan dengan program NASTRAN. Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Data masukan berupa :

- Material yang digunakan beserta data geometri struktur untuk tiap jenis elemen.
- Memasukkan koordinat simpul struktur dan menomori simpul.
- Membuat elemen struktur dan menomori elemen.
- Memasukkan beban vertikal pada *node* struktur dan beban horizontal sebagai beban terdistribusi.

2. Menentukan kondisi batas :

- Jenis tumpuan pada dasar kaki diasumsikan sebagai tumpuan jepit
- Tipe elemen diasumsikan sebagai elemen batang

3. Melakukan analisa dengan metode analisa statis.

4. Dari hasil *running* akan didapatkan *output displacement* di tiap simpul, gaya-gaya reaksi pada tumpuan, gaya geser, gaya torsi, dan gaya aksial serta gaya tekuk pada elemen struktur.
5. Gaya yang dihasilkan dari perhitungan NASTRAN ini kemudian digunakan untuk perhitungan tegangan.

Selanjutnya berikut dapat dilihat contoh *input data* NASTRAN

Gambar 3.3. Tabel dialog untuk mendefinisikan material struktur

Gambar 3.4. Tabel dialog untuk mendefinisikan elemen batang

| DEFINE PROPERTY - BEAM ELEMENT TYPE | | | | X |
|--|--|---|----------------------|---|
| ID <input style="width: 40px;" type="text" value="1"/> | Title <input style="width: 150px;" type="text" value="Chord"/> | Material <input style="width: 100px;" type="text" value="1..ASTM A36"/> | | |
| Color <input style="width: 40px;" type="text" value="95"/> | <input style="width: 60px;" type="button" value="Palette..."/> | Layer <input style="width: 40px;" type="text" value="1"/> | Elem/Property Type.. | |

Property Values

| | End A | End B |
|---------------------------------------|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tapered Beam | | |
| Area, A | <input style="width: 80px;" type="text" value="0.2859"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| Moments of Inertia, I_1 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0.128474"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| I_2 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0.128474"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| I_{12} | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| Torsional Constant, J | <input style="width: 80px;" type="text" value="0.128494"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| Y Shear Area | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| Z Shear Area | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| Nonstruct mass/length | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |

Stress Recovery (2 to 4 Blank=Square)

| | Y | Z |
|---------|---|---|
| End A 1 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| 2 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| 3 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| 4 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| End B 1 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| 2 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| 3 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |
| 4 | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> | <input style="width: 80px;" type="text" value="0"/> |

Gambar 3.5. Tabel dialog untuk mendefinisikan properti struktur

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 MATERIAL STRUKTUR

Material struktur *tripod* yang dianalisa dapat dilihat pada spesifikasi material sebagai berikut :

| | | |
|---------------------|---|--------------------|
| Material | = | ASTM A36 |
| Young's Modulus (E) | = | $2 \cdot 10^5$ MPa |
| Shear's Modulus (G) | = | 75842.106 Mpa |
| Tension | = | 450 MPa |
| Yield | = | 280 Mpa |
| Rasio poison | = | 0,32 |

Struktur dikenai beban vertikal dengan kenaikan beberapa ribu ton sampai didapatkan struktur tidak memenuhi kriteria kekuatan yang direkomendasikan oleh API RP-2A.

4.2 KRITERIA KEKUATAN DALAM API – RP2A

Tegangan –tegangan ijin untuk silinder (API, 1993).

4.2.1 Tegangan Tarik Aksial (*Axial Tension*)

Tegangan tarik :

$$F = 0,6 F_y$$



$$F = 0,6 \times 280$$

$$= 168 \text{ Mpa}$$

4.2.2 Tegangan Tekan Aksial (*Axial Compression*)

Tegangan tekan:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2Cc^2}\right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8Cc} - \frac{(KL/r)^3}{8Cc^3}} \cdot F_y \quad \text{untuk } KL/r < Cc$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(0,8.14/0,67)^2}{2.118,741^2}\right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(0,8.14/0,67)}{8.118,741} - \frac{(0,8.14/0,67)^3}{8.118,741^3}}$$

$$F_a = 161,2849 \text{ MPa}$$

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad \text{untuk } KL/r \geq Cc$$

$$F_a = \frac{12 \times 3,14^2 \times 2.10^5}{23(0,8.14/0,67)^2}$$

$$F_a = 137103.921 \text{ Mpa}$$

dimana $Cc = \left[\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y} \right]^{\frac{1}{2}}$

$$Cc = \left[\frac{2 \times 3,14^2 \times 2.10^{11}}{280} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Cc = 118,741$$

dan $KL/r = 0,8 \times 14 / 0,67$

$$= 16,67$$

| | | |
|---|----------------|------------------------|
| E | = 2.10^5 Mpa | Modulus Young |
| L | = 14 m | panjang unbraced |
| k | = 0,8 | faktor panjang efektif |
| r | = 0,67 | jari-jari girasi |

Karena harga $kL/r < C_c$ sehingga besar tegangan aksial tekan yang diijinkan adalah 161,2849 Mpa.

Untuk bentuk-bentuk struktur *tripod* yang lain dapat dilihat pada hasil analisa dalam penjelasan selanjutnya.

4.2.3 Tegangan tekuk (*bending stress*)

Tegangan tekuk :

$$F_b = 0,75 F_y \quad \text{untuk} \quad \frac{D}{t} \leq \frac{10340}{F_y} \text{ dalam SI}$$

$$F_b = 217,5 \text{ Mpa} \quad \text{untuk} \quad \frac{D}{t} \leq 35,66 \text{ dalam SI}$$

$$F_b = \left[0,84 - 1,74 \frac{F_y D}{E t} \right] \cdot F_y \quad \text{untuk} \quad \frac{10340}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{20680}{F_y} \text{ dalam SI}$$

$$F_b = 210,54 \quad \text{untuk} \quad 35,66 < \frac{D}{t} \leq 71,31 \text{ dalam SI}$$

$$F_b = \left[0,72 - 0,58 \frac{F_y D}{E t} \right] \cdot F_y \quad \text{untuk} \quad \frac{20680}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \text{ dalam SI}$$

$$F_b = 197,98 \text{ MPa} \quad \text{untuk} \quad 71,31 < \frac{D}{t} \leq 300 \text{ dalam SI}$$

Harga $D/t = 40$ untuk struktur I dan II maka harga F_b yang digunakan adalah 210,54 MPa sedangkan untuk struktur III harga F_b yang digunakan adalah 210 MPa.

4.2.4 Tegangan geser (*shear stress*)

Tegangan geser maksimum yang diijinkan adalah :

$$F_v = 2 \cdot V/A$$

$$V = \text{gaya geser memanjang (MN)}$$

$$A = \text{luas (m}^2\text{)}$$

Tegangan geser ijin :

$$F_v = 0,4 \times F_y$$

$$F_v = 112 \text{ MPa}$$

Tegangan geser torsional maksimum :

$$F_{vt} = \frac{M_t \left(\frac{D}{2} \right)}{I_p}$$

$$F_{vt} = \text{tegangan geser torsi maksimum (MPa)}$$

$$M_t = \text{momen torsi}$$

$$I_p = \text{momen polar inersia (m}^4\text{)}$$

Tegangan geser torsional ijin :

$$F_{vt} = 0,4 \times F_y$$

$$= 112 \text{ Mpa}$$

4.2.5 Tegangan majemuk tekan dan tekuk

$$\frac{f_a}{0,6.F_y} + \frac{\sqrt{f_{xb}^2 + f_{yb}^2}}{F_b} \leq 1.0$$

apabila $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$, maka digunakan

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{xb}^2 + f_{yb}^2}}{F_b} \leq 1.0$$

Rumusan ini akan digunakan mengetahui rasio interaksi struktur yang dirancang. Secara keseluruhan dapat dilihat tegangan ijin yang direkomendasikan API RP-2A seperti pada tabel dibawah.

Tabel 4.1. Tegangan ijin yang direkomendasikan API RP - 2A

| Item | Tegangan ijin API RP-2A (Mpa) |
|-------------------------|----------------------------------|
| Tegangan aksial tarik | 168 |
| Tegangan aksial tekan | 161,3 |
| Tegangan akibat bending | 210,54 |
| Tegangan geser | 112 |
| Rasio interaksi | ≤ 1.0 |

4.3 RESPON STRUKTUR

Hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak NASTRAN kemudian dianalisa dan hasilnya kemudian diperiksa dengan tegangan – tegangan ijin yang telah direkomendasikan oleh API RP-2A.

Tabel 4.2. Indeks struktural terpakai

| <i>Payload</i> (ton) | Indeks Struktural (M/m ²) |
|---------------------------|--|
| 5000 | 0.0077 |
| 6000 | 0.0092 |
| 7000 | 0.0107 |
| 8000 | 0.0123 |
| 9000 | 0.0138 |
| 10000 | 0.0153 |
| 11000 | 0.0169 |
| 12000 | 0.0184 |
| 13000 | 0.0199 |
| 14000 | 0.0215 |
| 15000 | 0.0230 |

Respons struktur yang mendapatkan jenis pembebananyang terus ditambah dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut di bawah.

Tabel 4.3.1. Hasil respon struktur *tripod* tipe - I

| Elemen | Tegangan (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|----|---------|----|---------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | |
| Translasi (m) | 0.0391 | 33 | 0.0421 | 33 | 0.0454 | 33 | 0.0483 | 33 | 0.0525 | 33 | 0.0562 | 33 | 0.0601 | 33 | 0.0640 | 33 | 0.0680 | 33 | 0.0721 | 33 | 0.0762 | 33 |
| Rotasi (rad) | 0.0004 | 27 | 0.0004 | 27 | 0.0004 | 27 | 0.0004 | 27 | 0.0004 | 27 | 0.0004 | 27 | 0.0004 | 27 | 0.0005 | 27 | 0.0005 | 27 | 0.0005 | 27 | 0.0006 | 27 |
| Gaya aksial (MN) | 17.0600 | 1 | 20.2772 | 1 | 23.5950 | 1 | 26.9127 | 1 | 30.1299 | 1 | 33.4477 | 1 | 36.7654 | 1 | 39.9826 | 1 | 43.3000 | 1 | 46.6181 | 50 | 49.9358 | 1 |
| Tegangan aksial (MPa) | 59.6691 | | 70.9216 | | 82.5260 | | 94.1299 | | 105.3824 | | 116.9868 | | 128.5908 | | 139.8433 | | 151.4462 | | 163.0516 | | 174.6556 | |
| Gaya geser (MN) | 0.0602 | 1 | 0.0672 | 1 | 0.0744 | 1 | 0.0845 | 1 | 0.0967 | 8 | 0.1092 | 8 | 0.1217 | 8 | 0.1338 | 8 | 0.1463 | 8 | 0.1588 | 8 | 0.1713 | 8 |
| Tegangan geser (MPa) | 0.4211 | | 0.4699 | | 0.5203 | | 0.5911 | | 0.6764 | | 0.7636 | | 0.8510 | | 0.9360 | | 1.0234 | | 1.1108 | | 1.1983 | |
| Bending (MN.m) | 0.8365 | 1 | 0.9280 | 1 | 1.0223 | 1 | 1.1166 | 1 | 1.2080 | 1 | 1.3023 | 1 | 1.3966 | 1 | 1.4881 | 1 | 1.5824 | 1 | 1.6767 | 1 | 1.7710 | 1 |
| Tegangan bending (MPa) | 6.2506 | | 6.9343 | | 7.6389 | | 8.3436 | | 9.0266 | | 9.7312 | | 10.4358 | | 11.1196 | | 11.8242 | | 12.5288 | | 13.2335 | |
| Torsi (MN.m) | 0.0455 | 47 | 0.0464 | 46 | 0.0474 | 46 | 0.0484 | 46 | 0.0498 | 44 | 0.0512 | 44 | 0.0527 | 44 | 0.0541 | 44 | 0.0556 | 44 | 0.0571 | 44 | 0.0585 | 44 |
| Tegangan torsi (MPa) | 0.3399 | | 0.3467 | | 0.3541 | | 0.3616 | | 0.3721 | | 0.3825 | | 0.3937 | | 0.4042 | | 0.4154 | | 0.4266 | | 0.4371 | |
| Bending pada sb x (MN.m) | 0.8365 | 1 | 0.9280 | 1 | 1.0223 | 1 | 1.1166 | 1 | 1.2080 | 1 | 1.3023 | 1 | 1.3966 | 1 | 1.4881 | 1 | 1.5824 | 1 | 1.6767 | 1 | 1.7710 | 1 |
| Tegangan bending thd sb x (Mpa) | 6.2506 | | 6.9343 | | 7.6389 | | 8.3436 | | 9.0266 | | 9.7312 | | 10.4358 | | 11.1196 | | 11.8242 | | 12.5288 | | 13.2335 | |
| Bending pada sb y (MN.m) | 0.2014 | 7 | 0.2495 | 7 | 0.2991 | 7 | 0.3487 | 7 | 0.3968 | 7 | 0.4464 | 7 | 0.4960 | 7 | 0.5441 | 7 | 0.5937 | 7 | 0.6433 | 7 | 0.6929 | 7 |
| Tegangan bending thd sb y (Mpa) | 1.5049 | | 1.8643 | | 2.2350 | | 2.6056 | | 2.9650 | | 3.3356 | | 3.7063 | | 4.0657 | | 4.4363 | | 4.8069 | | 5.1776 | |
| Tegangan majemuk | 65.9197 | | 77.8559 | | 90.1649 | | 102.4735 | | 114.4090 | | 126.7180 | | 139.0266 | | 150.9628 | | 163.2704 | | 175.5805 | | 187.8891 | |
| Rasio Interaksi | 0.3857 | | 0.4563 | | 0.5290 | | 0.6018 | | 0.6724 | | 0.7452 | | 0.8180 | | 0.8886 | | 0.9614 | | 1.0343 | | 1.1071 | |
| Indeks struktural | 0.0077 | | 0.0092 | | 0.0107 | | 0.0123 | | 0.0138 | | 0.0153 | | 0.0169 | | 0.0184 | | 0.0199 | | 0.0215 | | 0.0230 | |

Rekomendasi API RP-2A 1993 :

Tegangan aksial tarik = 168 MPa
 Tegangan aksial tekan = 161.3 MPa
 Tegangan geser = 112 MPa
 Tegangan bending = 210.5 MPa
 Tegangan torsi = 112 MPa

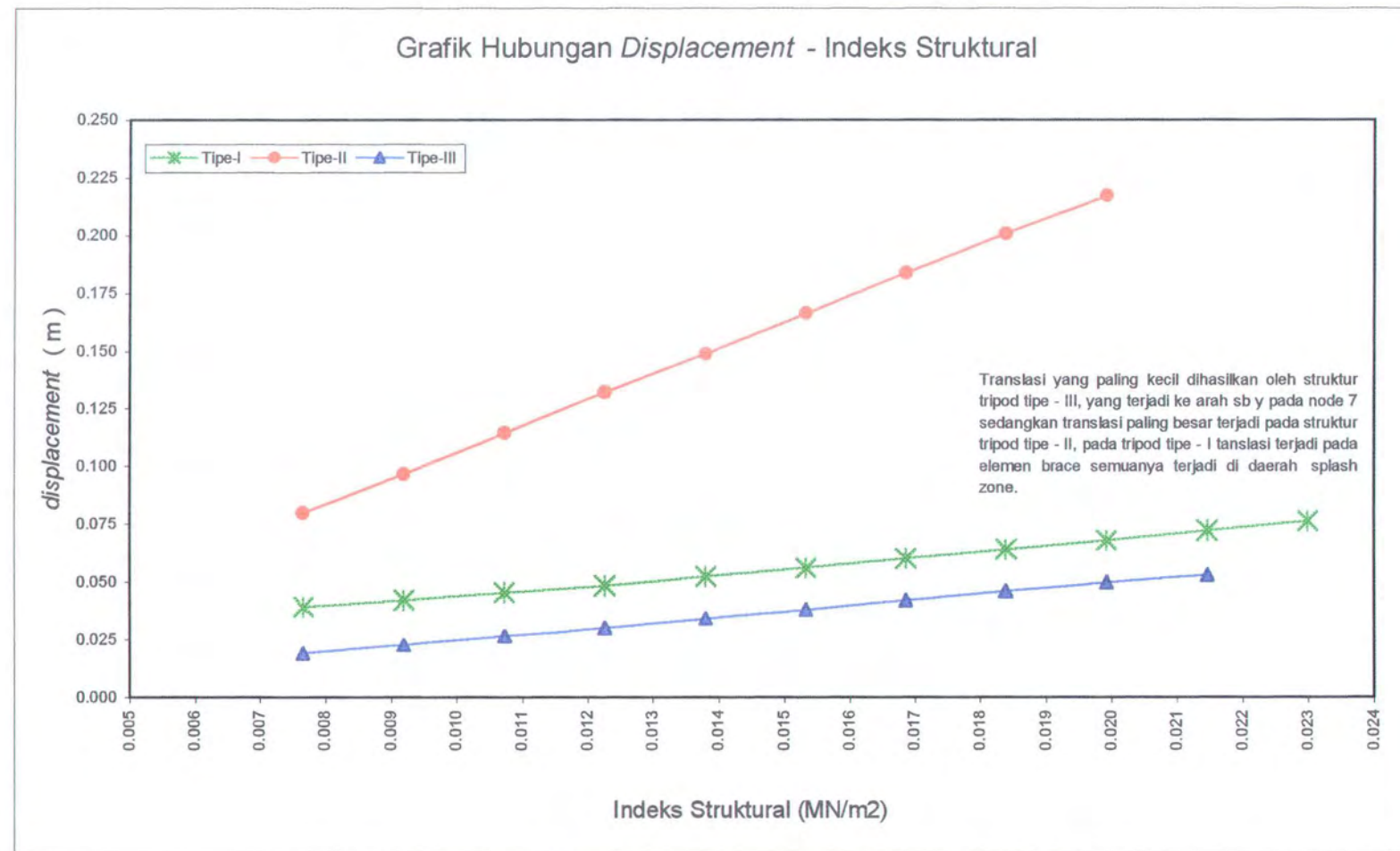
Tabel 4.3.2. Hasil respon struktur *tripod* tipe - II

| Item | Payload (ton) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|-----|---------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| | 5000 | N/E | 6000 | N/E | 7000 | N/E | 8000 | N/E | 9000 | N/E | 10000 | N/E | 11000 | N/E | 12000 | N/E | 13000 |
| Translasi (m) | 0.0798 | 7 | 0.0968 | 7 | 0.1143 | 7 | 0.1319 | 7 | 0.1489 | 7 | 0.1664 | 7 | 0.1840 | 7 | 0.2009 | 7 | 0.2172 |
| Rotasi (rad) | 0.0014 | 7 | 0.0016 | 7 | 0.0019 | 7 | 0.0022 | 7 | 0.0025 | 7 | 0.0028 | 7 | 0.0031 | 7 | 0.0033 | 7 | 0.0036 |
| Gaya aksial (MN) | 18.5223 | 7 | 22.1848 | 7 | 25.9618 | 7 | 29.7388 | 7 | 33.4013 | 7 | 37.1783 | 7 | 40.9552 | 7 | 44.6178 | 7 | 48.3451 |
| Tegangan aksial (MPa) | 64.7837 | | 77.5936 | | 90.8041 | | 104.0145 | | 116.8245 | | 130.0349 | | 143.2450 | | 156.0554 | | 169.0920 |
| Gaya geser (MN) | 0.1032 | 44 | 0.1277 | 44 | 0.1530 | 44 | 0.1783 | 44 | 0.2028 | 44 | 0.2281 | 44 | 0.2534 | 44 | 0.2779 | 44 | 0.3002 |
| Tegangan geser (MPa) | 0.7219 | | 0.8933 | | 1.0703 | | 1.2472 | | 1.4186 | | 1.5956 | | 1.7726 | | 1.9440 | | 2.1000 |
| Bending (MN.m) | 1.8377 | 44 | 2.2972 | 44 | 2.7100 | 44 | 3.1529 | 44 | 3.5824 | 44 | 4.0253 | 44 | 4.4682 | 44 | 4.8974 | 44 | 5.2880 |
| Tegangan bending (MPa) | 13.7319 | | 17.1654 | | 20.2500 | | 23.5595 | | 26.7688 | | 30.0783 | | 33.3878 | | 36.5949 | | 39.5136 |
| Torsi (MN.m) | 0.1210 | 7 | 0.1441 | 7 | 0.1678 | 7 | 0.1917 | 7 | 0.2147 | 7 | 0.2385 | 7 | 0.2623 | 7 | 0.2853 | 7 | 0.3128 |
| Tegangan torsi (MPa) | 0.9040 | | 1.0766 | | 1.2537 | | 1.4322 | | 1.6040 | | 1.7819 | | 1.9597 | | 2.1315 | | 2.3370 |
| Bending pada sb x (MN.m) | 1.8377 | 44 | 2.2972 | 44 | 2.7100 | 44 | 3.1529 | 44 | 3.5824 | 44 | 4.0253 | 44 | 4.4682 | 44 | 4.8974 | 44 | 5.2880 |
| Tegangan bending thd sb x (Mpa) | 13.7319 | | 17.1654 | | 20.2500 | | 23.5595 | | 26.7688 | | 30.0783 | | 33.3878 | | 36.5949 | | 39.5136 |
| Bending pada sb y (MN.m) | 0.2887 | 44 | 0.3478 | 44 | 0.4087 | 44 | 0.4697 | 44 | 0.5288 | 44 | 0.5898 | 44 | 0.6507 | 44 | 0.7098 | 44 | 0.7685 |
| Tegangan bending thd sb y (Mpa) | 2.1573 | | 2.5989 | | 3.0539 | | 3.5097 | | 3.9514 | | 4.4072 | | 4.8622 | | 5.3038 | | 5.7425 |
| Tegangan majemuk | 78.5155 | | 94.7590 | | 111.0540 | | 127.5740 | | 143.5933 | | 160.1133 | | 176.6328 | | 192.6503 | | 208.6056 |
| Rasio Interaksi | 0.4516 | | 0.5443 | | 0.6378 | | 0.7323 | | 0.8239 | | 0.9184 | | 1.0129 | | 1.1045 | | 1.1961 |
| Indeks struktural | 0.0077 | | 0.0092 | | 0.0107 | | 0.0123 | | 0.0138 | | 0.0153 | | 0.0169 | | 0.0184 | | 0.0199 |

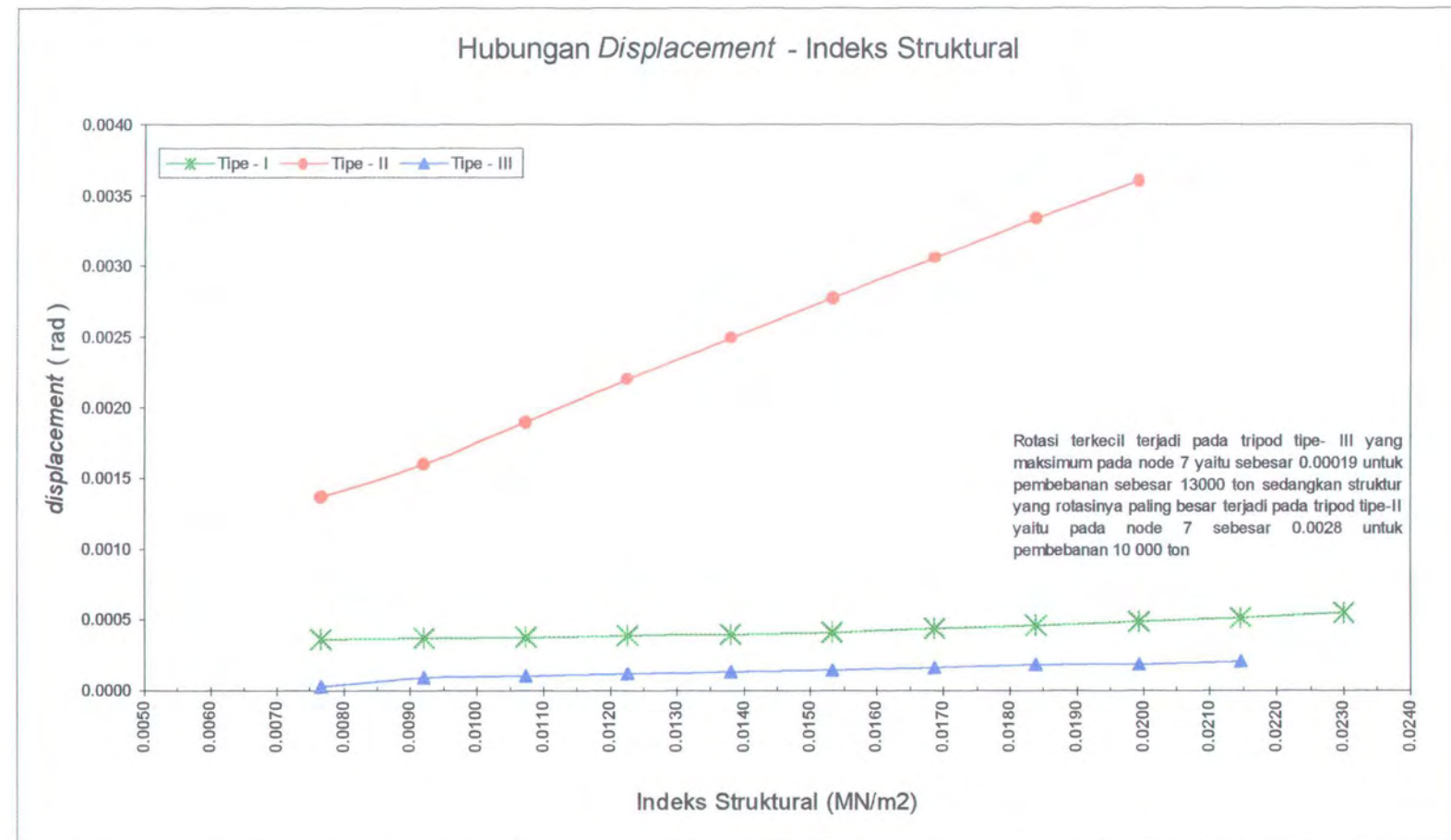
Rekomendasi API RP-2A 1993 :

| | | | |
|-----------------------|---|---------|-----|
| Tegangan aksial tarik | = | 168 | MPa |
| Tegangan aksial tekan | = | 161.285 | MPa |
| Tegangan geser | = | 112 | MPa |
| Tegangan bending | = | 210.54 | MPa |
| Tegangan torsi | = | 112 | MPa |

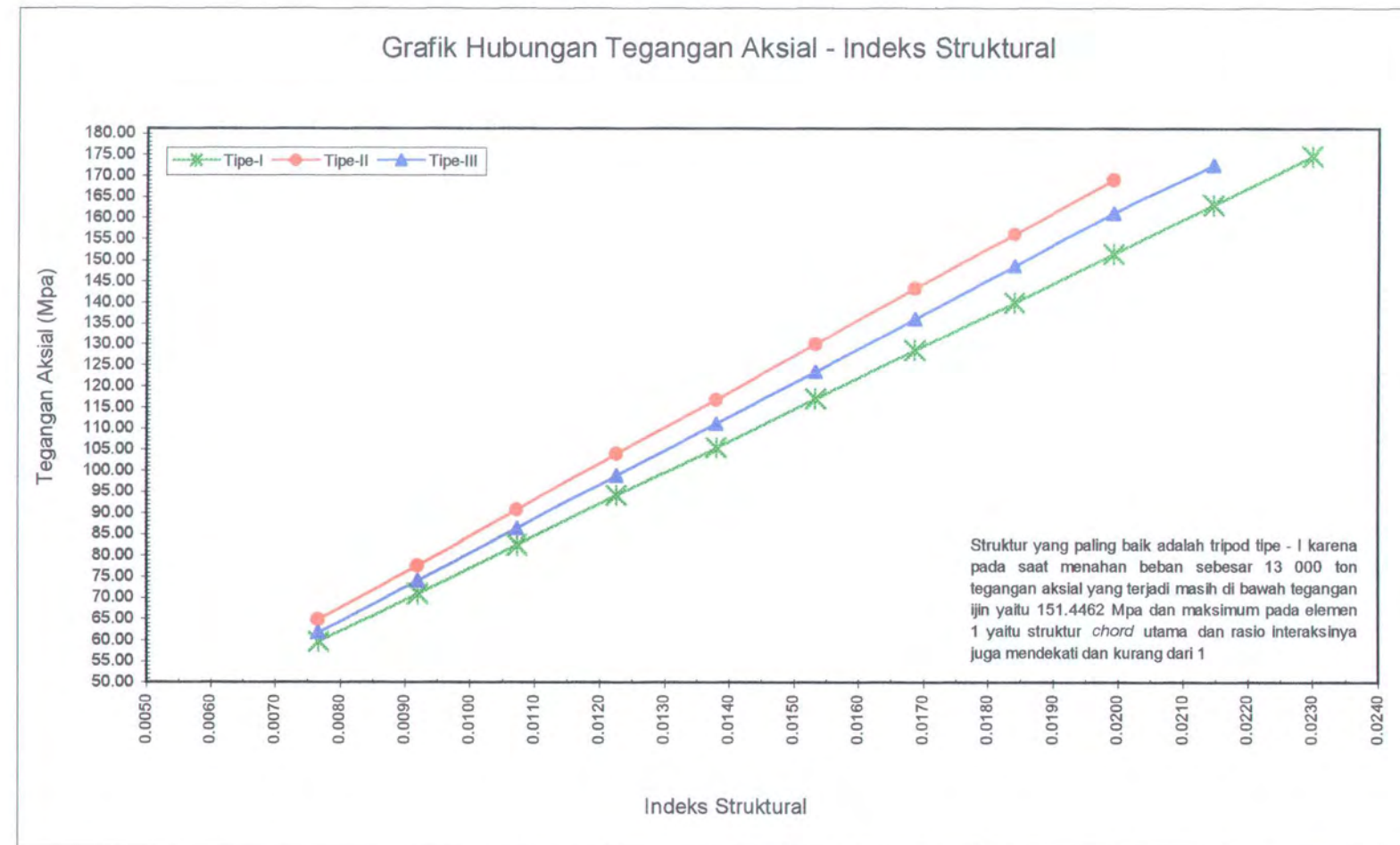
BUKTI PERPUSTAKAAN
177 S



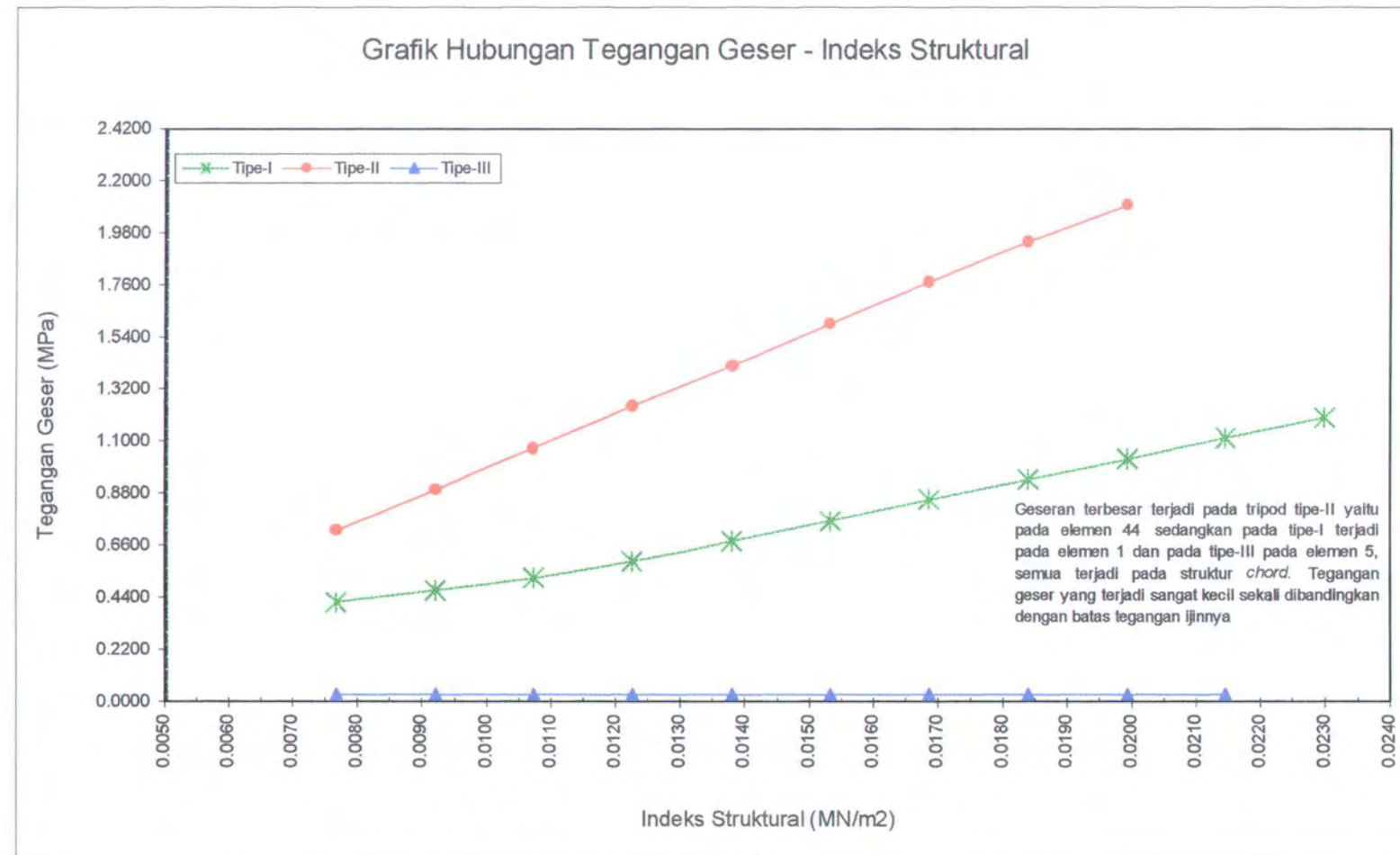
Gambar 4.3.1. Grafik hubungan translasi terhadap fungsi indeks struktural



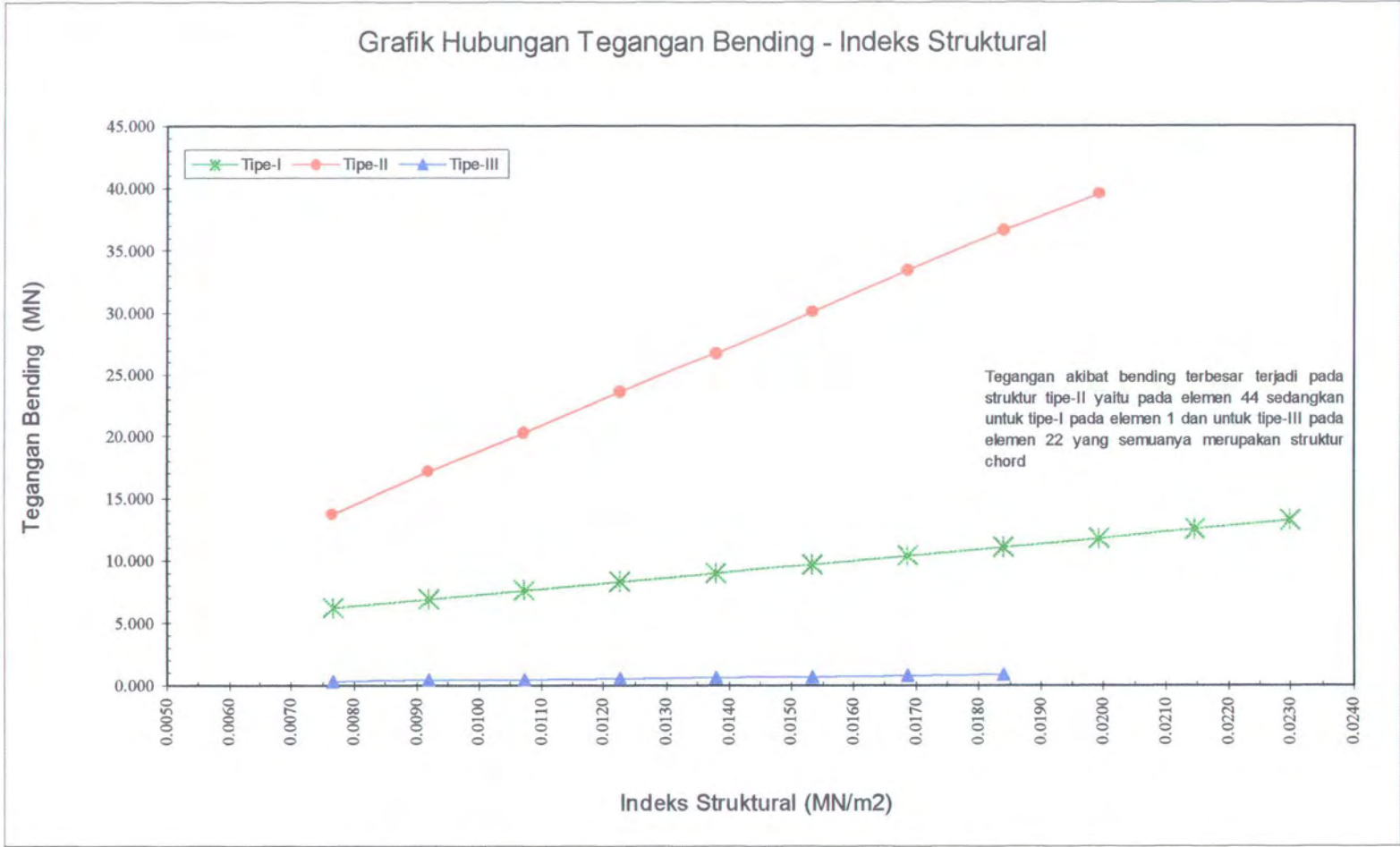
Gambar 4.3.2. Grafik hubungan rotasi terhadap fungsi indeks struktural



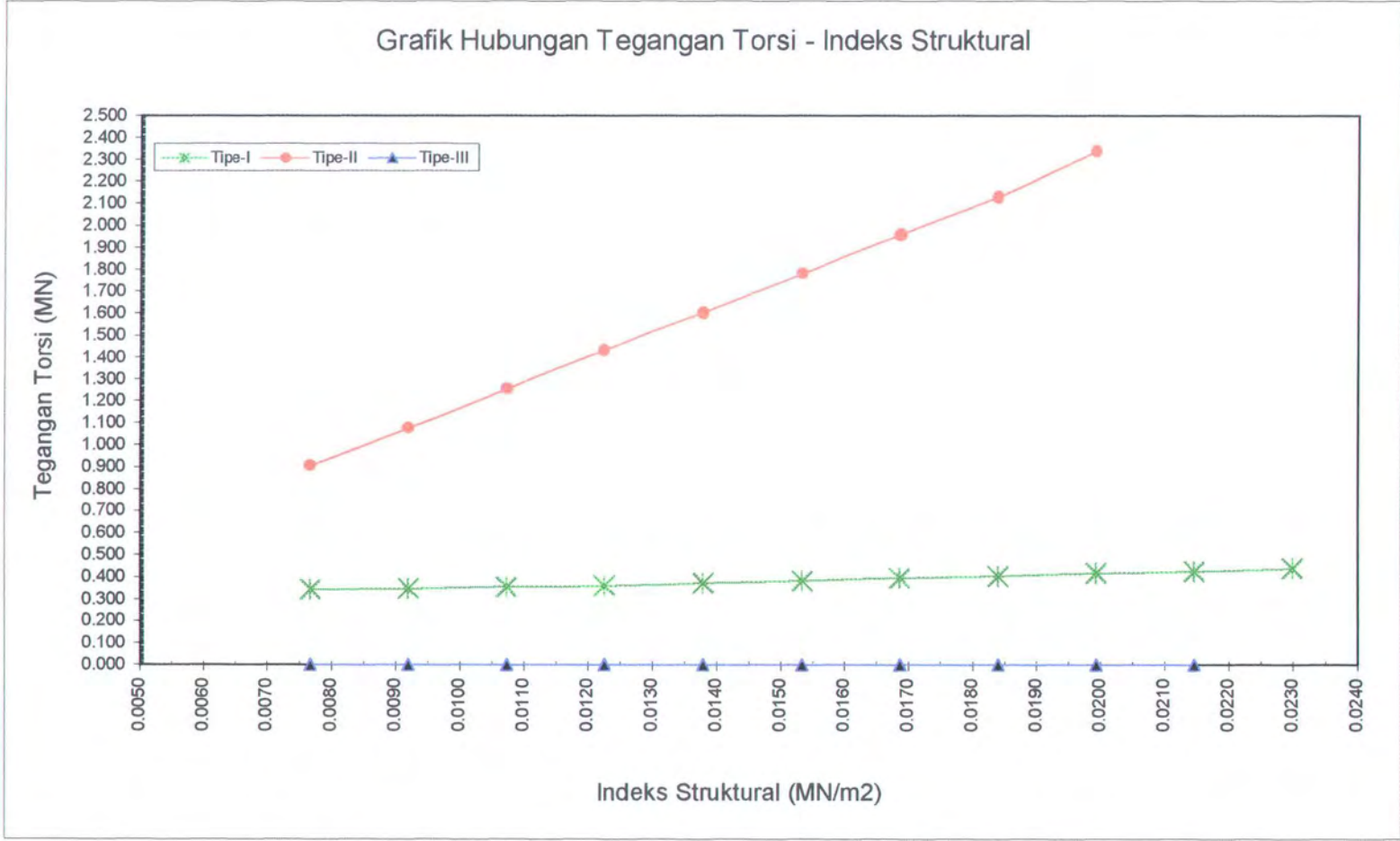
Gambar 4.3.3. Grafik hubungan tegangan aksial tekan terhadap fungsi indeks struktural



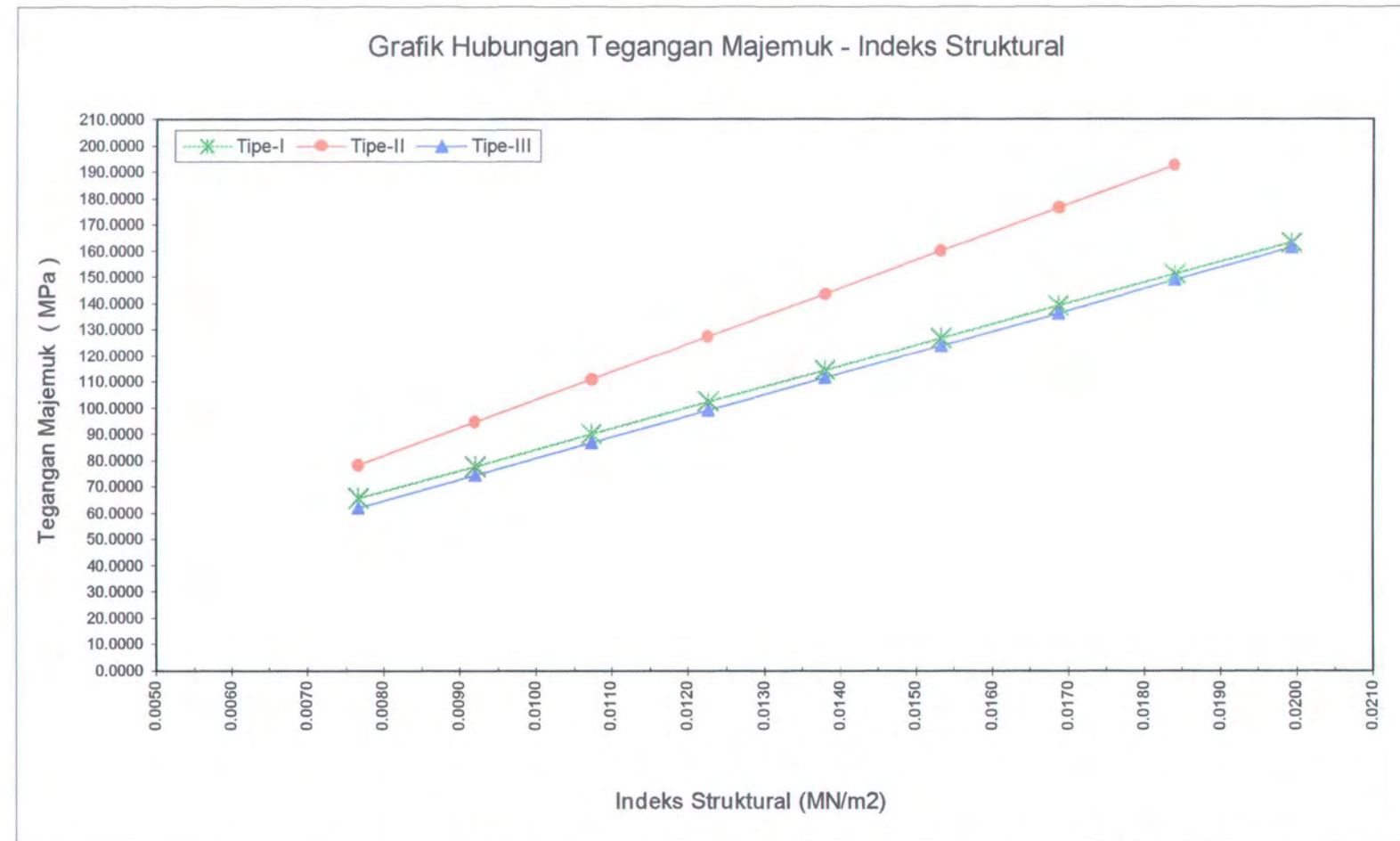
Gambar 4.3.4. Grafik hubungan tegangan geser terhadap fungsi indeks struktural



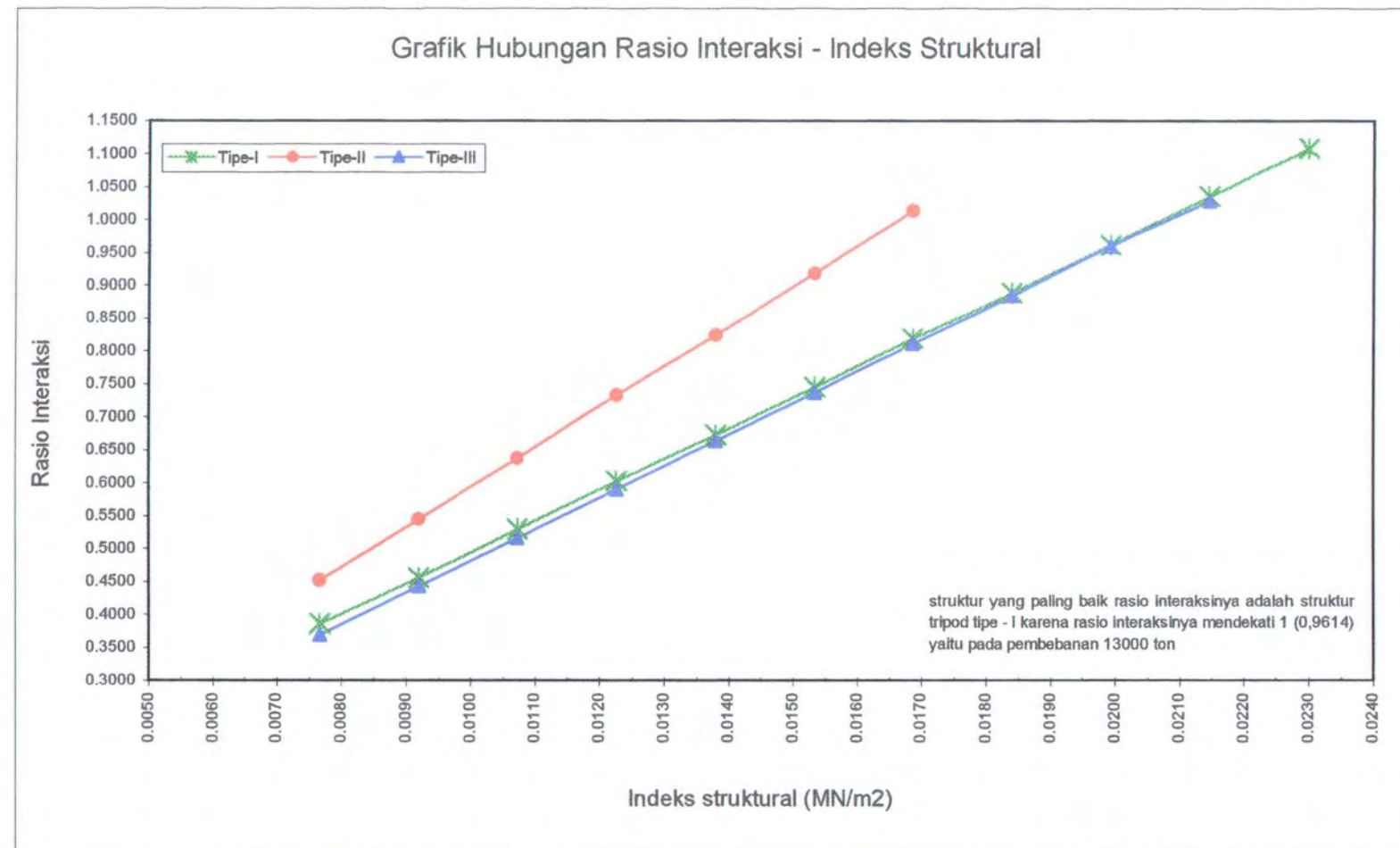
Gambar 4.3.5. Grafik hubungan tegangan tekuk terhadap fungsi indeks struktural



Gambar 4.3.6. Grafik hubungan tegangan torsi terhadap fungsi indeks struktural



Gambar 4.3.7. Grafik hubungan tegangan majemuk terhadap fungsi indeks struktural



Gambar 4.3.8. Grafik hubungan rasio interaksi struktur terhadap fungsi indeks struktural

4.4. PEMBAHASAN HASIL ANALISA

Dari semua hasil perhitungan yang dianalisa dan dari grafik yang dibuat dapat dijelaskan seperti dijabarkan berikut.

4.4.1 Analisa Gerak Struktur

Struktur *tripod* yang mengalami *displacement* paling besar terjadi pada tipe *tripod – II* yang terjadi pada node 7, yaitu node yang terletak di puncak struktur *tripod*. *Displacement* ini menimbulkan *defleksi* struktur ke arah sumbu y. Sedangkan struktur yang *displacement*-nya paling kecil adalah struktur *tripod* tipe-III yang terjadi di node puncak struktur. Untuk struktur tipe-I *displacement*-nya terjadi pada *tubular* bracing diagonalnya, yaitu elemen yang terletak di daerah puncak struktur. Translasi pada semua struktur terjadi ke arah sumbu y global. Untuk pembebanan yang sama (10.000 ton) maka translasi pada ketiga tipe struktur *tripod* adalah berturut-turut sebagai berikut, untuk tipe-I *tripod-skirtpile support* (0.0562 m), tipe-II *tripod-single batter* (0.1664 m) dan tipe-III *tower tripod* (0.038 m). Sedangkan untuk rotasi struktur penambahan *payload* tidak begitu mempengaruhi perubahan besar rotasi yang terjadi. Pada struktur *tripod-II* terjadi peningkatan yang cukup besar karena beban dari arah lateral yang mengenai struktur lebih besar.

4.4.2 Tegangan Aksial

Dari grafik terlihat sangat jelas bahwa peningkatan *payload* menyebabkan tegangan aksial struktur juga akan semakin besar . Diantara ketiga struktur *tripod*

yang dianalisa maka struktur yang paling baik adalah struktur *tripod* tipe-I karena dengan indeks struktural yang sama tipe ini tegangan aksialnya lebih kecil.

Struktur *tripod* yang didukung oleh *skirtpile* lebih kuat karena beban didistribusikan ke dasar laut dengan tambahan *skirtpile*.

4.4.3 Tegangan Geser dan Tegangan Puntir (torsi)

Tegangan geser yang terjadi pada tiap struktur akan cenderung bertambah untuk penampang *tubular* yang lebih kecil. Hal ini terjadi karena semakin besar luas penampang struktur semakin kecil tegangan geser yang terjadi. Tegangan geser paling besar terjadi pada bentuk *tripod* tipe-II. Geseran pada elemen *beam* ini akan berpengaruh juga pada tegangan puntir.

4.4.4 Tegangan Bending

Bending yang terjadi pada struktur lebih dipengaruhi geometri struktur dan layout struktur. Hal ini terlihat pada struktur yang tanpa *batter* harga tegangan *bending*-nya lebih besar daripada struktur dengan kemiringan tertentu. Untuk struktur tipe-I dan tipe-II tegangan *bending* terbesar terjadi pada elemen *tubular chord* utama yang tegak lurus dibandingkan dengan tipe-III dimana tegangan *bending* terbesar terjadi pada elemen *tubular chord* yang mempunyai kemiringan tertentu. Pada tegangan *bending* pembebanan yang berpengaruh besar adalah pembebanan arah lateral terhadap elemen tersebut.

4.4.5 Rasio Interaksi Struktur

Dari grafik (4.3.8) terlihat bahwa rasio interaksi struktur akan semakin besar secara linier dengan bertambahnya *payload*.

Rasio interaksi ini menunjukkan bagaimana interaksi tegangan-tengangan yang bekerja pada struktur yang dianalisa. Berdasarkan rekomendasi dari API RP-2A yang menyatakan bahwa nilai rasio interaksi ini harus kurang dari 1 maka dari ketiga bentuk struktur *tripod* yang dianalisa, struktur *tripod* yang terbaik adalah tipe-I yaitu pada indeks struktural 0.0199 besar rasio interaksinya mendekati nilai 1 (0.9614). untuk tripod yang lain berturut-turut sebagai berikut; tipe-III pada indeks struktural yang sama rasio interaksinya 0.9596 dan tipe-II 0.09184 pada indeks struktural yang lebih kecil.

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Setelah melaksanakan berbagai perhitungan dan analisa berbagai reaksi yang ditunjukkan oleh setiap variasi struktur maka dapat dibuat kesimpulan tentang masalah yang diangkat sebagai studi ini seperti penjelasan berikut dibawah :

5.1.1 Respon struktur

Dari studi yang dilakukan ini diperoleh hubungan antara respon struktur akibat pembebanan luar dengan indeks struktural sebagai berikut :

a. Translasi

Bentuk *tripod* dengan kemiringan kaki menghasilkan translasi yang lebih besar dibandingkan dengan kaki yang tanpa *batter*, yang terjadi pada daerah struktur yang dekat ke permukaan laut, dimana beban gelombang yang paling besar terjadi. *Displacement* yang terjadi pada struktur menyebabkan defleksi ke arah pembebanan lateral yang dalam hal ini disebabkan oleh pembebanan akibat gelombang. Selain itu struktur *tripod* yang didukung oleh *skirtpile* lebih kuat dibandingkan dengan struktur *tripod* dengan pile saja. Perbandingan ini dibuat berdasarkan penelitian tentang kekuatan struktur *tripod* dengan dimensi yang sama (Santosa, 2000).

b. Rotasi

Rotasi pada struktur akan semakin besar pada kaki *tripod* yang miring. Dan untuk struktur kaki yang miring dengan penambahan *payload* menyebabkan rotasi struktur akan semakin besar juga sedangkan untuk struktur kaki *tripod* tanpa *batter* menyebabkan rotasi yang terjadi pada struktur tersebut cenderung konstan. Semakin besar dimensi *tubular* struktur semakin kecil rotasi yang terjadi.

c. Tegangan aksial

Penambahan *payload* pada suatu struktur akan menyebabkan tegangan aksial akan semakin besar juga. Bentuk struktur *tripod* dengan kaki yang miring (dengan *batter*) akan menghasilkan tegangan aksial yang lebih besar dibandingkan dengan dengan kaki yang tanpa *batter*. Untuk struktur yang diameternya besar maka tegangan aksial yang terjadi juga semakin kecil akan tetapi gaya yang ditimbulkan akan lebih besar dibandingkan dengan struktur *tripod* yang diameternya lebih kecil.

d. Tegangan geser

Tegangan geser semakin besar untuk struktur kaki *tripod* dengan *batter* karena pembebanan yang mengenai elemen tersebut berasal dari dua arah yaitu pembebanan dari arah vertikal dan dari arah lateral. Semakin besar dimensi *tubular member* struktur tersebut semakin kecil tegangan gesernya.

e. Tegangan bending

Tegangan bending terbesar akan terjadi pada struktur dengan kemiringan kaki, dan akan semakin kecil untuk tipe struktur yang tanpa *batter*. Semakin besar dimensi *tubular member* struktur tersebut semakin kecil bending yang terjadi. Semakin besar payload yang diberikan semakin besar tegangan bendingnya.

f. Tegangan geser torsional

Tegangan geser torsi yang terjadi juga akan semakin besar untuk bentuk struktur *tripod* dengan kemiringan kaki. Dengan penambahan *payload* akan menyebabkan tegangan yang terjadi juga semakin besar.

g. Tegangan majemuk

Tegangan aksial pada struktur yang terjadi akibat mendapatkan pembebanan arah vertikal berpengaruh besar pada tegangan majemuk. Semakin besar *payload* yang diberikan akan semakin besar tegangan majemuknya.

h. Rasio interaksi

Struktur *tripod* yang kakinya tanpa *batter* akan menghasilkan rasio interaksi yang lebih baik daripada struktur kaki tripod dengan *batter* pada indeks struktural yang sama. Semakin besar *payload* yang diberikan semakin besar rasio interaksinya.

Setelah hasil studi dianalisa maka dari semua bentuk *tripod* yang baik adalah tipe-I yaitu *tripod-skirtpile support* karena struktur ini dapat memberikan rasio interaksi yang paling baik serta mampu menahan beban *payload* lebih besar dibandingkan dengan kedua struktur yang lain pada indeks struktural yang sama. Rasio interaksi terbaik struktur *tripod* tipe *tripod skirtpile support* yaitu **0.9614** pada harga indeks struktural **0.0199** atau *payload* **13000** ton. Untuk tripod tipe-III yaitu *tower tripod* rasio interaksinya lebih kecil yaitu 0.9596 pada indeks struktural yang sama sedangkan untuk *tripod* tipe-II rasio interaksinya sudah 0.9184 pada indeks struktural yang lebih kecil yaitu 0.0153.

5.2. SARAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan maka untuk studi yang lebih sempurna beberapa hal dapat disarankan sebagai berikut :

- Pemahaman yang bagus mengenai perangkat lunak Msc-NASTRAN sangat menunjang dalam penyelesaian studi yang lebih kompleks.
- Referensi mengenai struktur *jacket* terutama *tripod* sangat kurang sekali di Indonesia, karenanya alangkah akan lebih baik jika referensi mengenai hal tersebut dilengkapi untuk perbaikan dalam studi-studi mengenai struktur bangunan laut.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. "*Structural Steel Design*". **API Recommended Practice 2A (RP2A)**. Section 3. 1993
- Biro Klasifikasi Indonesia.. **Buku Pedoman Rancang Bangun Bangunan Lepas Pantai di Perairan Indonesia**. Indonesia. 1991
- Chacrabarti, S.K. **Hidroynamics of Offshore Structure**. Henny Ling Ltd, Donchester, UK. 1987.
- Dawson, T.H. **Offshore Structural Engineering**. Prentice-Hall, Inc. Engelwood Cliffs. New Jersey, USA. 1983.
- Drawe, W.J. "*Conseptual Development.*" **Planning And Design of Fixed Offshore Platform**. Van Nostrand Reinhold, Co. New York. 1986.
- Graff, W.J. **Introduction of Offshore Structure**. Gulf Publishing Company. Houston. 1981.
- Hsu, T.H. **Applied Offshore Structural Engineering**. Gulf publishers. Houston. 1984.
- Rockach, A.J.. **Structural Steel Design**. Mc Graw-Hill, Inc. Singapore. 1991.
- Rosyid, D.M. "*Dimensional Method in Structural Optimization*". **Proceeding of International Offshore and Polar Engineering Conference**. Singapore. 1993.



Rosyid, D.M. **Perancangan Struktur Anjungan Lepas Pantai : Filosofi, Prosedur, Model Analisis.** Kursus Segitiga Biru.ITS.1996.

Weidler, J.B., dan D.I. Karsan. 1986. "Analytical model, Three Dimensional Analysis". **Planning And Design of Fixed Offshore Platform.** Van Nostrand Reinhold, Co. New York.

LAMPIRAN A

PROGRAM PANJANG GELOMBANG

DENGAN FORTRAN

A. Listing Program

```
c234567
c$noext
c$nolist
      real k,L,Lo
      character*7 jenis
      common T,phi,rho,d,H
      open (8,File='inputgel.txt')
      read (8,*)d,H,T
      Open (9,File='outputgel.txt')
      Write (9,2)d,H,T
2     Format ('d (kedalaman air)          = ',f6.3,' m',/, 'H (tinggi gelombang
-g) = ',f6.3,' m',/, 'T (periode gelombang) = ',f6.3,' detik')
      phi=3.141592654
      rho=1025.
      call iterasiL(L,k,Lo)
      Stop
      end

c     ***** SUBROUTINE ITERASI L (PANJANG GELOMBANG) *****
      subroutine iterasiL(L,k,Lo)
      real k,L,Lo
      common T,phi,rho,d,H
      Write (9,*)'+-----+-----+-----+-----+-----'
-----+
      Write (9,3)
3     Format ( ' | Iterasi ke- | ',' K | ',' Lo | ',' L
-   |',' ErrorL |')
      Write (9,*)'|-----|-----|-----|-----|-----'
-----+
      Lo=(9.81*T**2)/(2.*phi)
      Iterasi=0
20    Iterasi=Iterasi+1
      k=2.*phi/Lo
      L=(9.81*T**2)*(tanh(k*d))/(2.*phi)
      ErrorL=abs(L-Lo)
      if (ErrorL.LE.0.004) then
        Write (9,4)Iterasi,k,Lo,L>ErrorL
4     Format(' | ',i5,' | ',f8.3,' | ',f10.5,' | ',f10.5,' | ',f6
-.4,' | ')
      endif

      Write (*,4)Iterasi,k,Lo,L,errorL
      if (errorL.LE.0.001) then
        goto 10
      else
        if (errorL.GE.0.1) then
          Lo=L-0.01
          Iterasi=Iterasi+99
          goto 20
        else
          if (errorL.LT.0.1.and.errorL.GE.0.01) then
            Lo=L-0.001
            Iterasi=Iterasi+9
```

```

elseif (errorL.GE.0.1) then
  Lo=L-0.01
  Iterasi=Iterasi+99
  goto 20
else
  if (errorL.LT.0.1.and.errorL.GE.0.01) then
    Lo=L-0.001
    Iterasi=Iterasi+9
    goto 20
  Endif
  Lo=L-0.0001
  goto 20
Endif
10 Write (9,*)'+-----+-----+-----+-----+-----+
-----+'
write(*,'(A,f12.5,A)')'Panjang gelombang=',Lo,' meter.'
write(9,'(A,f12.5,A)')'Panjang gelombang=',Lo,' meter.'
return
End

```

B. Input data (file name : 'inputgel.txt')

80.
6.
11.

Keterangan nilai :
1.Kedalaman air
2.Tinggi gelombang
3.Periode gelombang

C. Output data (file name : 'outputgel.txt')

d (kedalaman air) = 84.000 m
H (tinggi gelombang) = 6.000 m
T (periode gelombang) = 11.000 detik

| Iterasi ke- | K | Lo | L | ErrorL |
|-------------|-------|-----------|-----------|--------|
| 111 | 0.033 | 187.56610 | 187.56440 | 0.0017 |
| 112 | 0.033 | 187.56430 | 187.56450 | 0.0002 |

Panjang gelombang= 187.56430 meter.

LAMPIRAN B

PROGRAM BEBAN GELOMBANG

DENGAN FORTRAN

A. Listing Program

```

c$noext
c$nowarn
      real hor,b1,b2,cd,cm,dc,dh,dd,Tc,Th,L,k,lt,sinhkd
      integer elm
      common T,phi,rho,d,H
      phi=22./7.
      rho=1025
      teta=0
      elm=0

      open  (8,File='Intype-1.txt')
      read  (8,*) L,T,D,H,hor,b1,b2,cd,cm,dc,dh,dd,Tc,Thh,Tbd,lt
      Open  (9,File='outype-1.txt')
      write(9,*) 'Untuk menghitung beban gelombang diperlukan data-data
$
      -sebagai berikut:'
      write(9,80) L,T,D,H,hor,b1,b2,cd,cm,dc,dh,dd,Tc,Thh,Tbd,lt

80      format(
      -- Panjang gelombang              = L      =',f9.4,'
meter',/,
      -- Periode gelombang              = T      =',f9.4,'
detik',/,
      -- Kedalaman air                  = d      =',f9.4,'
meter',/,
      -- Tinggi gelombang              = H      =',f9.4,'
meter',/,
      -- Jarak antara bracing horisontal = h      =',f9.4,'
meter',/,
      -- Lebar puncak                    = b1     =',f9.4,'
meter',/,
      -- Lebar alas                      = b2     =',f9.4,'
meter',/,
      -- Koef. Drag (antara 0.6 s.d. 1.0) = CD     =',f9.4,/,
      -- Koef. Inersia (antara 1.5 s.d. 2.0) = CM     =',f9.4,/,
      -- Diameter nominal chord          = D      =',f9.4,'
meter',/,
      -- Diameter nominal brace horisontal = dh     =',f9.4,'
meter',/,
      -- Diameter nominal brace diagonal  = dd     =',f9.4,'
meter',/,
      -- Tebal dinding chord              = Tc     =',f9.4,'
meter',/,
      -- Tebal dinding brace horisontal    = Thh    =',f9.4,'
meter',/,
      -- Tebal dinding brace diagonal      = Tbd    =',f9.4,'
meter',/,
      -- Interval waktu                  = lt     =',f9.4,' detik')

c***** PENENTUAN KOORDINAT GLOBAL JOINT
*****
      x0=x1=0
      y0=y2=y15=0
      y1=y4=y16=hor
      x2=x3=x4=x17=x18=x19=x20=x21=12.99038
      x5=x6=x7=x8=x9=x10=x11=x12=x13=x14=0
      y6=y17=2*hor
      y8=y18=3*hor
      y10=y19=4*hor
      y12=y20=5*hor

```



```

y14=y21=6*hor
x15=x16=12.99038
y3=0.5*hor
y5=1.5*hor
y7=2.5*hor
y9=3.5*hor
y11=4.5*hor
y13=5.5*hor
goto 85

85  write(9,*)
    if(elm.eq.19) then
        stop
    end if
    write(9,86) elm+1
86  format('ELEMEN ',i2)
    write(9,87)
87  format(' x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) ')
88  elm=elm+1
90  if(elm.eq.1) then
    xu=x1
    xl=x0
    yu=y1
    yl=y0
    sudphi=atan((x0-x1)/hor)
    end if

    if(elm.eq.2) then
    xu=x3
    xl=x2
    yu=y3
    yl=y2
    sudphi=atan((x2-x3)/hor)
    end if

    if(elm.eq.3) then
    xu=x4
    xl=x3
    yu=y4
    yl=y3
    sudphi=atan((x3-x4)/hor)
    end if

    if(elm.eq.4) then
    xu=x5
    xl=x1
    yu=y5
    yl=y1
    sudphi=atan((x1-x5)/hor)
    end if

    if(elm.eq.5) then
    xu=x6
    xl=x5
    yu=y6
    yl=y5
    sudphi=atan((x5-x6)/hor)
    end if

    if(elm.eq.6) then
    xu=x7
    xl=x6
    yu=y7

```

```
yl=y6  
sudphi=atan((x6-x7)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.7) then  
xu=x8  
xl=x7  
yu=y8  
yl=y7  
sudphi=atan((x7-x8)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.8) then  
xu=x9  
xl=x8  
yu=y9  
yl=y8  
sudphi=atan((x8-x9)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.9) then  
xu=x10  
xl=x9  
yu=y10  
yl=y9  
sudphi=atan((x9-x10)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.10) then  
xu=x11  
xl=x10  
yu=y11  
yl=y10  
sudphi=atan((x10-x11)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.11) then  
xu=x12  
xl=x11  
yu=y12  
yl=y11  
sudphi=atan((x11-x12)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.12) then  
xu=x13  
xl=x12  
yu=y13  
yl=y12  
sudphi=atan((x12-x13)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.13) then  
xu=x14  
xl=x13  
yu=y14  
yl=y13  
sudphi=atan((x13-x14)/hor)  
end if
```

```
if(elm.eq.14) then  
xu=x16  
xl=x15
```



```

    yu=y16
    yl=y15
    sudphi=atan((x15-x16)/hor)
    end if

    if(elm.eq.15) then
        xu=x17
        xl=x4
        yu=y17
        yl=y4
        sudphi=atan((x4-x17)/hor)
    end if

    if(elm.eq.16) then
        xu=x18
        xl=x17
        yu=y18
        yl=y17
        sudphi=atan((x17-x18)/hor)
    end if

    if(elm.eq.17) then
        xu=x19
        xl=x18
        yu=y19
        yl=y18
        sudphi=atan((x18-x19)/hor)
    end if

    if(elm.eq.18) then
        xu=x20
        xl=x19
        yu=y20
        yl=y19
        sudphi=atan((x19-x20)/hor)
    end if

    if(elm.eq.19) then
        xu=x21
        xl=x20
        yu=y21
        yl=y20
        sudphi=atan((x20-x21)/hor)
    end if

120  loop=0

121  loop=loop+1
    if(elm.eq.1.or.elm.eq.2.or.elm.eq.3.or.elm.eq.4.or.elm.eq.5.or.e
    -lm.eq.6.or.elm.eq.7.or.elm.eq.8.or.elm.eq.9.or.elm.eq.10.or.el
    -m.eq.11.or.elm.eq.12.or.elm.eq.13.or.elm.eq.14.or.elm.eq.15.or.e
    -lm.eq.16.or.elm.eq.17.or.elm.eq.18.or.elm.eq.19) then
        goto 125
    endif

125  ya1=y1+(hor/4)
    ya2=y1+(2*hor/4)
    ya3=y1+(3*hor/4)
    xa1=x1
    xa2=x1
    xa3=x1
    goto 136

```



```

136  if(loop.eq.1) then
      x=x1
      y=y1
    end if

    if(loop.eq.2) then
      x=xal
      y=yal
    end if

    if(loop.eq.3) then
      x=xa2
      y=ya2
    end if

    if(loop.eq.4) then
      x=xa3
      y=ya3
    end if

    if(loop.eq.5) then
      x=xu
      y=yu
    end if

    goto 130

c***** PERHITUNGAN KECEPATAN PARTIKEL GELOMBANG *****
130  w=(2*pi)/T
      k=(2*pi)/L
      sinhkd=sinh(k*d)
      u=((w*H)/2)*(cosh(k*y))*(cos((k*x)-(w*t)))/sinhkd
      v=((w*H)/2)*(sinh(k*y))*(sin((k*x)-(w*t)))/sinhkd

c***** PERHITUNGAN PERCEPATAN PARTIKEL GELOMBANG *****
      ax=((w**2)*H/2)*(cosh(k*y))*(sin((k*x)-(w*t)))/sinhkd
      ay=-((w**2)*H/2)*(sinh(k*y))*(cos((k*x)-(w*t)))/sinhkd

c***** KOMPONEN-KOMPONEN NORMAL GELOMBANG *****
      cx=sin(sudphi)
      cy=cos(sudphi)
      vv=sqrt((u**2)+(v**2)-((cx*u+cy*v)**2))
      un=u-(cx*((cx*u)+(cy*v)))
      vn=v-(cy*((cx*u)+(cy*v)))
      anx=ax-(cx*((cx*ax)+(cy*ay)))
      any=ay-(cy*((cx*ax)+(cy*ay)))

      if(elm.eq.1.or.elm.eq.2.or.elm.eq.3.or.elm.eq.4.or.elm.eq.5.or.
        -elm.eq.6.or.elm.eq.7.or.elm.eq.8.or.elm.eq.9.or.elm.eq.10.or.
        -elm.eq.11.or.elm.eq.12.or.elm.eq.13) then
        goto 131
      endif

if(elm.eq.14.or.elm.eq.15.or.elm.eq.16.or.elm.eq.17.or.elm.eq.18.
  -or.elm.eq.19) then
  goto 131
endif

c***** BEBAN GELOMBANG MORISON *****
131  fx=(0.5*rho*cd*dc*vv*un)+(rho*cm*phi*dc**2*anx/4)
      fy=(0.5*rho*cd*dc*vv*vn)+(rho*cm*phi*dc**2*any/4)

```



```

        fn=sqrt((fx**2)+(fy**2))
        goto 134

132    fx=(0.5*rho*cd*dh*vv*un)+(rho*cm*phi*dh**2*anx/4)
        fy=(0.5*rho*cd*dh*vv*vn)+(rho*cm*phi*dh**2*any/4)
        fn=sqrt((fx**2)+(fy**2))
        goto 134

133    fx=(0.5*rho*cd*dd*vv*un)+(rho*cm*phi*dd**2*anx/4)
        fy=(0.5*rho*cd*dd*vv*vn)+(rho*cm*phi*dd**2*any/4)
        fn=sqrt((fx**2)+(fy**2))
        goto 134

134    if(y.gt.(d+H/2)) then
        fx=0
        fy=0
        fn=0
        end if
        chi=(180*sudphi)/phi
        write (9,135)x,y,chi,fx,fy,fn
135    Format(f6.3,'|',f6.1,'|',f6.2,'|',f10.3,'|',f10.3,'|',f10.3)
        if(loop.eq.5) then
            goto 85
        else
            goto 121
        end if

```

c***** AKHIR DARI PROGRAM *****

B. Input data (file name : 'intype-1'.txt)

```

187.564
11.
84.00
6.
14.6
21.82
21.82
0.65
2.0
1.920
0.499
0.2963
0.048
0.011
0.007
1.

```

Nilai yang ditulis di atas berturut-turut merupakan:

1. Panjang gelombang hasil iterasi
2. Periode gelombang
3. Kedalaman perairan
4. Tinggi gelombang
5. Jarak antara bracing horisontal
6. Lebar puncak
7. Lebar alas
8. Nilai CD
9. Nilai CM
10. Diameter chord
11. Diameter brace horisontal
12. Diameter brace diagonal

13. Ketebalan chord
14. Ketebalan brace horizontal
15. Ketebalan brace diagonal
16. Interval waktu

C. Output data (file name : 'outype.txt')

Untuk menghitung beban gelombang diperlukan data-data sebagai berikut:

| | | |
|---------------------------------------|-------|------------------|
| - Panjang gelombang | = L | = 187.5640 meter |
| - Periode gelombang | = T | = 11.0000 detik |
| - Kedalaman air | = d | = 84.0000 meter |
| - Tinggi gelombang | = H | = 6.0000 meter |
| - Jarak antara bracing horizontal | = h | = 14.0000 meter |
| - Lebar puncak | = b1 | = 21.8200 meter |
| - Lebar alas | = b2 | = 21.8200 meter |
| - Koef. Drag (antara 0.6 s.d. 1.0) | = CD | = 0.6500 |
| - Koef. Inersia (antara 1.5 s.d. 2.0) | = CM | = 2.0000 |
| - Diameter nominal chord | = D | = 1.9200 meter |
| - Diameter nominal brace horizontal | = dh | = 0.4990 meter |
| - Diameter nominal brace diagonal | = dd | = 0.2963 meter |
| - Tebal dinding chord | = Tc | = 0.0480 meter |
| - Tebal dinding brace horizontal | = Tbh | = 0.0110 meter |
| - Tebal dinding brace diagonal | = Tbd | = 0.0070 meter |
| - Interval waktu | = lt | = 1.0000 detik |

ELEMEN 1

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|-------|------|------|----------|---------|---------|
| 0.000 | 0.0 | 0.00 | -359.013 | 0.000 | 359.013 |
| 0.000 | 3.5 | 0.00 | -361.352 | 0.000 | 361.352 |
| 0.000 | 7.0 | 0.00 | -368.391 | 0.000 | 368.391 |
| 0.000 | 10.5 | 0.00 | -380.192 | 0.000 | 380.192 |
| 0.000 | 14.0 | 0.00 | -396.860 | 0.000 | 396.860 |

ELEMEN 2

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|--------|------|------|---------|---------|---------|
| 12.990 | 0.0 | 0.00 | -68.209 | 0.000 | 68.209 |
| 12.990 | 3.5 | 0.00 | -68.494 | 0.000 | 68.494 |
| 12.990 | 7.0 | 0.00 | -69.337 | 0.000 | 69.337 |
| 12.990 | 10.5 | 0.00 | -70.703 | 0.000 | 70.703 |
| 12.990 | 7.0 | 0.00 | -69.337 | 0.000 | 69.337 |

ELEMEN 3

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|--------|------|------|---------|---------|---------|
| 12.990 | 7.0 | 0.00 | -69.337 | 0.000 | 69.337 |
| 12.990 | 10.5 | 0.00 | -70.703 | 0.000 | 70.703 |
| 12.990 | 14.0 | 0.00 | -72.530 | 0.000 | 72.530 |
| 12.990 | 17.5 | 0.00 | -74.724 | 0.000 | 74.724 |
| 12.990 | 14.0 | 0.00 | -72.530 | 0.000 | 72.530 |

ELEMEN 4

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|-------|------|------|----------|---------|---------|
| 0.000 | 14.0 | 0.00 | -396.860 | 0.000 | 396.860 |
| 0.000 | 17.5 | 0.00 | -418.539 | 0.000 | 418.539 |
| 0.000 | 21.0 | 0.00 | -445.408 | 0.000 | 445.408 |
| 0.000 | 24.5 | 0.00 | -477.681 | 0.000 | 477.681 |
| 0.000 | 21.0 | 0.00 | -445.408 | 0.000 | 445.408 |

ELEMEN 5

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|-------|------|------|----------|---------|---------|
| 0.000 | 21.0 | 0.00 | -445.408 | 0.000 | 445.408 |
| 0.000 | 24.5 | 0.00 | -477.681 | 0.000 | 477.681 |

| | | | | | |
|-------|------|------|----------|-------|---------|
| 0.000 | 28.0 | 0.00 | -515.596 | 0.000 | 515.596 |
| 0.000 | 31.5 | 0.00 | -559.412 | 0.000 | 559.412 |
| 0.000 | 28.0 | 0.00 | -515.596 | 0.000 | 515.596 |

ELEMENT 6

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|----------|---------|---------|
| 0.000 | 28.0 | 0.00 | -515.596 | 0.000 | 515.596 |
| 0.000 | 31.5 | 0.00 | -559.412 | 0.000 | 559.412 |
| 0.000 | 35.0 | 0.00 | -609.393 | 0.000 | 609.393 |
| 0.000 | 38.5 | 0.00 | -665.797 | 0.000 | 665.797 |
| 0.000 | 35.0 | 0.00 | -609.393 | 0.000 | 609.393 |

ELEMENT 7

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|----------|---------|---------|
| 0.000 | 35.0 | 0.00 | -609.393 | 0.000 | 609.393 |
| 0.000 | 38.5 | 0.00 | -665.797 | 0.000 | 665.797 |
| 0.000 | 42.0 | 0.00 | -728.855 | 0.000 | 728.855 |
| 0.000 | 45.5 | 0.00 | -798.742 | 0.000 | 798.742 |
| 0.000 | 42.0 | 0.00 | -728.855 | 0.000 | 728.855 |

ELEMENT 8

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|----------|---------|---------|
| 0.000 | 42.0 | 0.00 | -728.855 | 0.000 | 728.855 |
| 0.000 | 45.5 | 0.00 | -798.742 | 0.000 | 798.742 |
| 0.000 | 49.0 | 0.00 | -875.542 | 0.000 | 875.542 |
| 0.000 | 52.5 | 0.00 | -959.201 | 0.000 | 959.201 |
| 0.000 | 49.0 | 0.00 | -875.542 | 0.000 | 875.542 |

ELEMENT 9

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|-----------|---------|----------|
| 0.000 | 49.0 | 0.00 | -875.542 | 0.000 | 875.542 |
| 0.000 | 52.5 | 0.00 | -959.201 | 0.000 | 959.201 |
| 0.000 | 56.0 | 0.00 | -1049.467 | 0.000 | 1049.467 |
| 0.000 | 59.5 | 0.00 | -1145.802 | 0.000 | 1145.802 |
| 0.000 | 56.0 | 0.00 | -1049.467 | 0.000 | 1049.467 |

ELEMENT 10

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|-----------|---------|----------|
| 0.000 | 56.0 | 0.00 | -1049.467 | 0.000 | 1049.467 |
| 0.000 | 59.5 | 0.00 | -1145.802 | 0.000 | 1145.802 |
| 0.000 | 63.0 | 0.00 | -1247.286 | 0.000 | 1247.286 |
| 0.000 | 66.5 | 0.00 | -1352.470 | 0.000 | 1352.470 |
| 0.000 | 63.0 | 0.00 | -1247.286 | 0.000 | 1247.286 |

ELEMENT 11

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|-----------|---------|----------|
| 0.000 | 63.0 | 0.00 | -1247.286 | 0.000 | 1247.286 |
| 0.000 | 66.5 | 0.00 | -1352.470 | 0.000 | 1352.470 |
| 0.000 | 70.0 | 0.00 | -1459.207 | 0.000 | 1459.207 |
| 0.000 | 73.5 | 0.00 | -1564.418 | 0.000 | 1564.418 |
| 0.000 | 70.0 | 0.00 | -1459.207 | 0.000 | 1459.207 |

ELEMENT 12

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|-----------|---------|----------|
| 0.000 | 70.0 | 0.00 | -1459.207 | 0.000 | 1459.207 |
| 0.000 | 73.5 | 0.00 | -1564.418 | 0.000 | 1564.418 |
| 0.000 | 77.0 | 0.00 | -1663.800 | 0.000 | 1663.800 |
| 0.000 | 80.5 | 0.00 | -1751.451 | 0.000 | 1751.451 |
| 0.000 | 77.0 | 0.00 | -1663.800 | 0.000 | 1663.800 |

ELEMENT 13

| X(m) | Y(m) | Chi | Fx(N/m) | Fy(N/m) | Fz(N/m) |
|-------|------|------|-----------|---------|----------|
| 0.000 | 77.0 | 0.00 | -1663.800 | 0.000 | 1663.800 |

| | | | | | |
|--------|-------|-------|------------|--------|-----------|
| 0.0001 | 80.51 | 0.001 | -1751.4511 | 0.0001 | 1751.4511 |
| 0.0001 | 84.01 | 0.001 | -1819.3831 | 0.0001 | 1819.3831 |
| 0.0001 | 87.51 | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 0.0001 | 84.01 | 0.001 | -1819.3831 | 0.0001 | 1819.3831 |

ELEMEN 14

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|---------|-------|-------|----------|---------|---------|
| 11.9901 | 0.01 | 0.001 | -68.1091 | 0.0001 | 68.1091 |
| 11.9901 | 3.51 | 0.001 | -68.4941 | 0.0001 | 68.4941 |
| 11.9901 | 7.01 | 0.001 | -69.8371 | 0.0001 | 69.8371 |
| 11.9901 | 10.51 | 0.001 | -73.7031 | 0.0001 | 73.7031 |
| 11.9901 | 14.01 | 0.001 | -72.5301 | 0.0001 | 72.5301 |

ELEMEN 15

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|---------|-------|-------|----------|---------|---------|
| 11.9901 | 14.01 | 0.001 | -72.5301 | 0.0001 | 72.5301 |
| 11.9901 | 17.51 | 0.001 | -74.7241 | 0.0001 | 74.7241 |
| 11.9901 | 21.01 | 0.001 | -77.1511 | 0.0001 | 77.1511 |
| 11.9901 | 24.51 | 0.001 | -79.6251 | 0.0001 | 79.6251 |
| 11.9901 | 28.01 | 0.001 | -81.8971 | 0.0001 | 81.8971 |

ELEMEN 16

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|---------|-------|-------|----------|---------|---------|
| 11.9901 | 28.01 | 0.001 | -81.8971 | 0.0001 | 81.8971 |
| 11.9901 | 31.51 | 0.001 | -83.6291 | 0.0001 | 83.6291 |
| 11.9901 | 35.01 | 0.001 | -84.3781 | 0.0001 | 84.3781 |
| 11.9901 | 38.51 | 0.001 | -83.5551 | 0.0001 | 83.5551 |
| 11.9901 | 42.01 | 0.001 | -80.3911 | 0.0001 | 80.3911 |

ELEMEN 17

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|---------|-------|-------|----------|---------|---------|
| 11.9901 | 42.01 | 0.001 | -80.3911 | 0.0001 | 80.3911 |
| 11.9901 | 45.51 | 0.001 | -73.8611 | 0.0001 | 73.8611 |
| 11.9901 | 49.01 | 0.001 | -62.7161 | 0.0001 | 62.7161 |
| 11.9901 | 52.51 | 0.001 | -43.2011 | 0.0001 | 43.2011 |
| 11.9901 | 56.01 | 0.001 | -19.1441 | 0.0001 | 19.1441 |

ELEMEN 18

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|---------|-------|-------|----------|---------|----------|
| 11.9901 | 56.01 | 0.001 | -19.1441 | 0.0001 | 19.1441 |
| 11.9901 | 59.51 | 0.001 | 18.1821 | 0.0001 | 18.1821 |
| 11.9901 | 63.01 | 0.001 | 70.7141 | 0.0001 | 70.7141 |
| 11.9901 | 66.51 | 0.001 | 142.8201 | 0.0001 | 142.8201 |
| 11.9901 | 70.01 | 0.001 | 240.5851 | 0.0001 | 240.5851 |

ELEMEN 19

| x(m) | y(m) | Chi | fx(N/m) | fy(N/m) | fn(N/m) |
|---------|-------|-------|----------|---------|----------|
| 11.9901 | 70.01 | 0.001 | 240.5851 | 0.0001 | 240.5851 |
| 11.9901 | 73.51 | 0.001 | 371.6651 | 0.0001 | 371.6651 |
| 11.9901 | 77.01 | 0.001 | 545.8461 | 0.0001 | 545.8461 |
| 11.9901 | 80.51 | 0.001 | 775.6171 | 0.0001 | 775.6171 |

LAMPIRAN C

DESKRIPSI GEOMETRI STRUKTUR

A. Data geometri tubular member struktur *tripod*

| Jenis Elemen | kL/r | k | L | r _{girasi} | Do | D/t | t | Di | Dave | Rave | Aave | I1 - I2 | J |
|------------------------|------|-----|--------|---------------------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|----------|----------|
| Chord - I Tegak | 100 | 0.8 | 84.000 | 0.6720 | 1.920 | 40 | 0.048 | 1.872 | 1.896 | 0.948 | 0.2859 | 0.128474 | 0.128495 |
| Brace Horizontal - I | 100 | 0.8 | 21.823 | 0.1750 | 0.499 | 45 | 0.011 | 0.488 | 0.493 | 0.247 | 0.0172 | 0.000522 | 0.000523 |
| Brace Diagonal - I | 100 | 0.8 | 12.964 | 0.1040 | 0.296 | 45 | 0.007 | 0.290 | 0.293 | 0.147 | 0.0061 | 0.000065 | 0.000065 |
| Chord Tegak - II | 100 | 0.8 | 84.000 | 0.6720 | 1.920 | 40 | 0.048 | 1.872 | 1.896 | 0.948 | 0.2859 | 0.128474 | 0.128495 |
| Chord Miring - II | 100 | 0.8 | 84.236 | 0.3739 | 1.925 | 40 | 0.048 | 1.877 | 1.901 | 0.951 | 0.2875 | 0.129924 | 0.129944 |
| Brace Horizontal - II | 100 | 0.8 | 21.823 | 0.1746 | 0.499 | 45 | 0.011 | 0.488 | 0.493 | 0.247 | 0.0172 | 0.000522 | 0.000523 |
| Brace Diagonal - II | 100 | 0.8 | 12.964 | 0.1037 | 0.296 | 45 | 0.007 | 0.290 | 0.293 | 0.147 | 0.0061 | 0.000065 | 0.000065 |
| Tower - III | 60 | 0.8 | 84.000 | 1.120 | 3.200 | 40 | 0.080 | 3.120 | 3.160 | 1.580 | 0.7942 | 0.991314 | 0.991473 |
| Chord Miring - III | 100 | 0.8 | 56.071 | 0.561 | 1.602 | 40 | 0.040 | 1.562 | 1.582 | 0.791 | 0.1991 | 0.062272 | 0.062282 |
| Brace Horizontal - III | 100 | 0.8 | 13.802 | 0.123 | 0.351 | 45 | 0.008 | 0.343 | 0.347 | 0.173 | 0.0085 | 0.000127 | 0.000127 |
| Brace Diagonal - III | 100 | 0.8 | 9.830 | 0.087 | 0.250 | 45 | 0.006 | 0.244 | 0.247 | 0.123 | 0.0043 | 0.000033 | 0.000033 |

B. Koordinat struktur *tripod*

Tripod tipe-I

| No. | X | Y | Z |
|-----|-----------|----------|----------|
| 1 | 0.00000 | 25.98076 | 0.00000 |
| 2 | 0.00000 | 25.98076 | 7.00000 |
| 3 | 0.00000 | 25.98076 | 14.00000 |
| 4 | 0.00000 | 25.98076 | 21.00000 |
| 5 | 0.00000 | 25.98076 | 28.00000 |
| 6 | 0.00000 | 25.98076 | 35.00000 |
| 7 | 0.00000 | 25.98076 | 42.00000 |
| 8 | -7.50000 | 12.99038 | 0.00000 |
| 9 | -7.50000 | 12.99038 | 7.00000 |
| 10 | -7.50000 | 12.99038 | 14.00000 |
| 11 | -7.50000 | 12.99038 | 21.00000 |
| 12 | -7.50000 | 12.99038 | 28.00000 |
| 13 | -7.50000 | 12.99038 | 35.00000 |
| 14 | -7.50000 | 12.99038 | 42.00000 |
| 15 | -3.75000 | 19.48557 | 3.50000 |
| 16 | -3.75000 | 19.48557 | 10.50000 |
| 17 | -3.75000 | 19.48557 | 17.50000 |
| 18 | -3.75000 | 19.48557 | 24.50000 |
| 19 | -3.75000 | 19.48557 | 31.50000 |
| 20 | -3.75000 | 19.48557 | 38.50000 |
| 21 | 7.50000 | 12.99038 | 0.00000 |
| 22 | 7.50000 | 12.99038 | 7.00000 |
| 23 | 7.50000 | 12.99038 | 14.00000 |
| 24 | 7.50000 | 12.99038 | 21.00000 |
| 25 | 7.50000 | 12.99038 | 28.00000 |
| 26 | 7.50000 | 12.99038 | 35.00000 |
| 27 | 7.50000 | 12.99038 | 42.00000 |
| 28 | 0.00000 | 12.99038 | 3.50000 |
| 29 | 0.00000 | 12.99038 | 10.50000 |
| 30 | 0.00000 | 12.99038 | 17.50000 |
| 31 | 0.00000 | 12.99038 | 24.50000 |
| 32 | 0.00000 | 12.99038 | 31.50000 |
| 33 | 0.00000 | 12.99038 | 38.50000 |
| 34 | 3.75000 | 19.48557 | 3.50000 |
| 35 | 3.75000 | 19.48557 | 10.50000 |
| 36 | 3.75000 | 19.48557 | 17.50000 |
| 37 | 3.75000 | 19.48557 | 24.50000 |
| 38 | 3.75000 | 19.48557 | 31.50000 |
| 39 | 3.75000 | 19.48557 | 38.50000 |
| 40 | -15.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 41 | -15.00000 | 0.00000 | 7.00000 |
| 42 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 43 | 0.00000 | 0.00000 | 7.00000 |
| 44 | 15.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| 45 | 15.00000 | 0.00000 | 7.00000 |

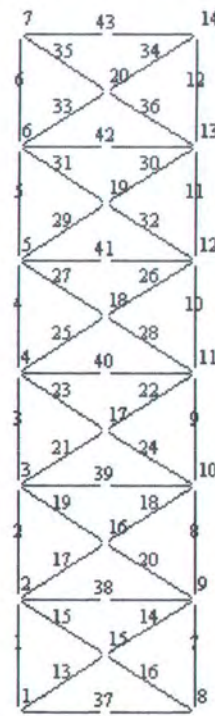
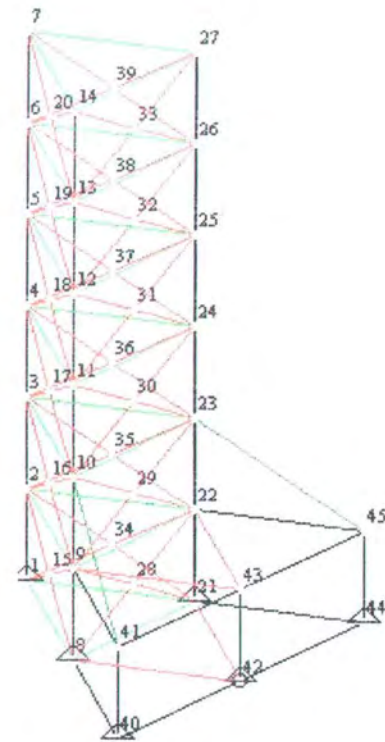
Tripod tipe - II

| No. | X | Y | Z |
|-----|----------|---------|---------|
| 1 | 0.0000 | 18.8994 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 17.8494 | 14.0000 |
| 3 | 0.0000 | 16.7995 | 28.0000 |
| 4 | 0.0000 | 15.7495 | 42.0000 |
| 5 | 0.0000 | 14.6995 | 56.0000 |
| 6 | 0.0000 | 13.6496 | 70.0000 |
| 7 | 0.0000 | 12.5996 | 84.0000 |
| 8 | -10.9116 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | -10.9116 | 0.0000 | 14.0000 |
| 10 | -10.9116 | 0.0000 | 28.0000 |
| 11 | -10.9116 | 0.0000 | 42.0000 |
| 12 | -10.9116 | 0.0000 | 56.0000 |
| 13 | -10.9116 | 0.0000 | 70.0000 |
| 14 | -10.9116 | 0.0000 | 84.0000 |
| 15 | -5.5266 | 9.1872 | 7.0000 |
| 16 | -5.6710 | 8.6622 | 21.0000 |
| 17 | -5.8196 | 8.1372 | 35.0000 |
| 18 | -5.9726 | 7.6123 | 49.0000 |
| 19 | -6.1305 | 7.0873 | 63.0000 |
| 20 | -6.2938 | 6.5623 | 77.0000 |
| 21 | 10.9116 | 0.0000 | 0.0000 |
| 22 | 10.9116 | 0.0000 | 14.0000 |
| 23 | 10.9116 | 0.0000 | 28.0000 |
| 24 | 10.9116 | 0.0000 | 42.0000 |
| 25 | 10.9116 | 0.0000 | 56.0000 |
| 26 | 10.9116 | 0.0000 | 70.0000 |
| 27 | 10.9116 | 0.0000 | 84.0000 |
| 28 | 0.0000 | 0.0000 | 7.0000 |
| 29 | 0.0000 | 0.0000 | 21.0000 |
| 30 | 0.0000 | 0.0000 | 35.0000 |
| 31 | 0.0000 | 0.0000 | 49.0000 |
| 32 | 0.0000 | 0.0000 | 63.0000 |
| 33 | 0.0000 | 0.0000 | 77.0000 |
| 34 | 5.5266 | 9.1872 | 7.0000 |
| 35 | 5.6710 | 8.6622 | 21.0000 |
| 36 | 5.8196 | 8.1372 | 35.0000 |
| 37 | 5.9726 | 7.6123 | 49.0000 |
| 38 | 6.1305 | 7.0873 | 63.0000 |
| 39 | 6.2938 | 6.5623 | 77.0000 |

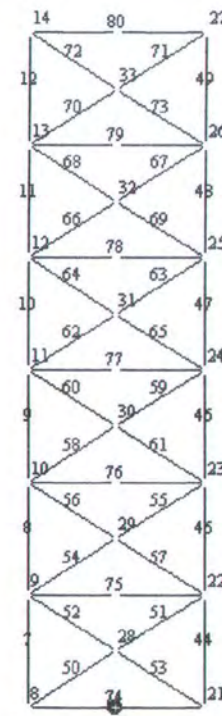
Tripod tipe – III

| No. | X | Y | Z |
|-----|----------|---------|---------|
| 1 | 0.0000 | 7.9687 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 7.9687 | 14.0000 |
| 3 | 0.0000 | 7.9687 | 28.0000 |
| 4 | 0.0000 | 7.9687 | 42.0000 |
| 5 | 0.0000 | 7.9687 | 56.0000 |
| 6 | 0.0000 | 7.9687 | 70.0000 |
| 7 | 0.0000 | 7.9687 | 84.0000 |
| 8 | -13.8022 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | -10.3516 | 1.9922 | 14.0000 |
| 10 | -6.9011 | 3.9843 | 28.0000 |
| 11 | -3.4505 | 5.9765 | 42.0000 |
| 12 | -6.9011 | 3.9843 | 0.0000 |
| 13 | 13.8022 | 0.0000 | 0.0000 |
| 14 | 10.3516 | 1.9922 | 14.0000 |
| 15 | 6.9011 | 3.9843 | 28.0000 |
| 16 | 3.4505 | 5.9765 | 42.0000 |
| 17 | 6.9011 | 3.9843 | 0.0000 |
| 18 | 0.0000 | 23.9061 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | 19.9217 | 14.0000 |
| 20 | 0.0000 | 15.9374 | 28.0000 |
| 21 | 0.0000 | 11.9530 | 42.0000 |
| 22 | 0.0000 | 15.9374 | 0.0000 |

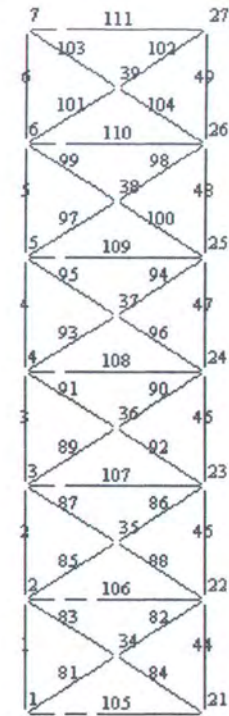
C. Penomoran joint dan elemen struktur tipe *tripod-skirtpile support*



Sisi A



Sisi B

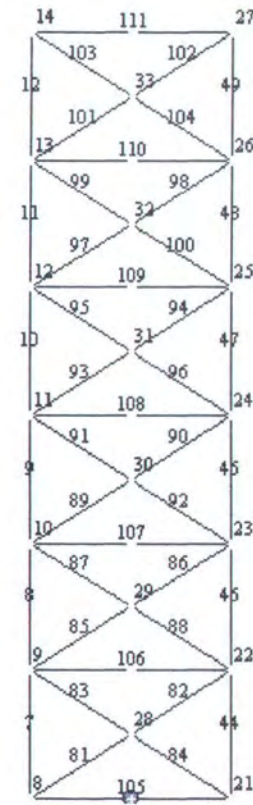


Sisi C

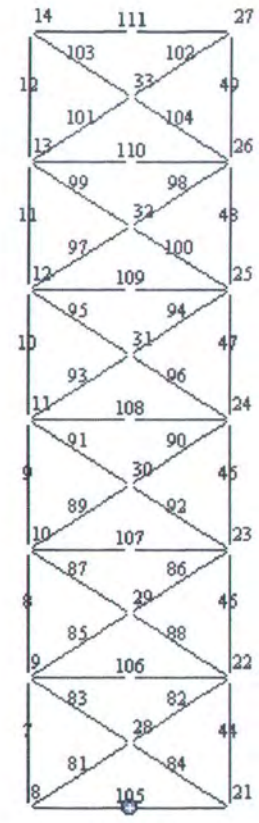
D. Penomoran joint dan elemen struktur tipe *tripod-single batter*



Sisi A



Sisi B



Sisi C

LAMPIRAN D

OUTPUT RESPON STRUKTUR

DENGAN PROGRAM MSC NASTRAN

Load 5000 Ton

Output Set 16 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 653)
 Maximum Node ID = 33 Value = 0.039051
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 2 - T1 Translation (Model Vector 615)
 Maximum Node ID = 39 Value = 0.0094855
 Minimum Node ID = 20 Value = -0.0086947
 Type = Displacement. Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3 - T2 Translation (Model Vector 616)
 Maximum Node ID = 33 Value = 0.032387
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 4 - T3 Translation (Model Vector 617)
 Maximum Node ID = 1 Value = 0.
 Minimum Node ID = 7 Value = -0.024485
 Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 654)
 Maximum Node ID = 27 Value = 0.00036439
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 6 - R1 Rotation (Model Vector 618)
 Maximum Node ID = 1 Value = 0.
 Minimum Node ID = 33 Value = -0.00031144
 Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 7 - R2 Rotation (Model Vector 619)
 Maximum Node ID = 35 Value = 0.0001186
 Minimum Node ID = 16 Value = -0.00009845
 Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 8 - R3 Rotation (Model Vector 620)
 Maximum Node ID = 14 Value = 0.00031271
 Minimum Node ID = 27 Value = -0.00035184
 Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 51 - Total Constraint Force (Model Vector 655)
 Maximum Node ID = 1 Value = 17209040.
 Minimum Node ID = 2 Value = 0.
 Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 52 - T1 Constraint Force (Model Vector 621)
 Maximum Node ID = 8 Value = 108738.
 Minimum Node ID = 21 Value = -109068.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 53 - T2 Constraint Force (Model Vector 622)
 Maximum Node ID = 8 Value = 29917.
 Minimum Node ID = 1 Value = -259314.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 54 - T3 Constraint Force (Model Vector 623)
 Maximum Node ID = 1 Value = 17207086.
 Minimum Node ID = 2 Value = 0.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 55 - Total Constraint Moment (Model Vector 656)
 Maximum Node ID = 1 Value = 838449.
 Minimum Node ID = 2 Value = 0.
 Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 56 - R1 Constraint Moment (Model Vector 624)
Maximum Node ID = 1 Value = 837107.
Minimum Node ID = 2 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 57 - R2 Constraint Moment (Model Vector 625)
Maximum Node ID = 8 Value = 200477.
Minimum Node ID = 21 Value = -194382.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 58 - R3 Constraint Moment (Model Vector 626)
Maximum Node ID = 21 Value = 44937.2
Minimum Node ID = 8 Value = -37896.9
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 627)
Maximum Element ID = 1 Value = 836509.
Minimum Element ID = 9 Value = -239209.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 629)
Maximum Element ID = 7 Value = 201381.
Minimum Element ID = 44 Value = -195280.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 628)
Maximum Element ID = 7 Value = 427959.
Minimum Element ID = 8 Value = -238918.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 630)
Maximum Element ID = 44 Value = 111290.
Minimum Element ID = 7 Value = -141276.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 631)
Maximum Element ID = 1 Value = 60193.3
Minimum Element ID = 9 Value = -15126.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA P12 Shear Force (Model Vector 633)
Maximum Element ID = 7 Value = 24475.6
Minimum Element ID = 44 Value = -21897.8
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB P11 Shear Force (Model Vector 632)
Maximum Element ID = 1 Value = 60193.3
Minimum Element ID = 9 Value = -15126.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB P12 Shear Force (Model Vector 634)
Maximum Element ID = 7 Value = 24475.6
Minimum Element ID = 44 Value = -21897.8
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 635)
Maximum Element ID = 38 Value = 146038.
Minimum Element ID = 1 Value = -17060018.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 636)
Maximum Element ID = 38 Value = 146038.
Minimum Element ID = 1 Value = -17060018.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 637)
Maximum Element ID = 10 Value = 41597.9
Minimum Element ID = 47 Value = -45450.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 638)
Maximum Element ID = 10 Value = 41597.9
Minimum Element ID = 47 Value = -45450.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3026 - Beam EndA Warping Torque (Model Vector 639)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3027 - Beam EndB Warping Torque (Model Vector 640)
Maximum Element ID = 1 Value = 0.
Minimum Element ID = 1 Value = 0.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress (Model Vector 641)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3140 - Beam EndA Pt2 Comb Stress (Model Vector 643)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3141 - Beam EndA Pt3 Comb Stress (Model Vector 645)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3142 - Beam EndA Pt4 Comb Stress (Model Vector 647)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3151 - Beam EndB Pt1 Comb Stress (Model Vector 642)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3152 - Beam EndB Pt2 Comb Stress (Model Vector 644)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3153 - Beam EndB Pt3 Comb Stress (Model Vector 646)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3154 - Beam EndB Pt4 Comb Stress (Model Vector 648)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3164 - Beam EndA Max Comb Stress (Model Vector 649)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3165 - Beam EndA Min Comb Stress (Model Vector 651)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3166 - Beam EndB Max Comb Stress (Model Vector 650)
Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y



Output Vector 3167 - Beam EndB Min Comb Stress (Model Vector 652)
 Maximum Element ID = 38 Value = 8490556.
 Minimum Element ID = 1 Value = -59671272.
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary

Maximum Value 0.039051 Output Vector 1 - Total Translation
 Minimum Value -0.024485 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary

Maximum Value 17209040. Output Vector 51 - Total Constraint Force
 Minimum Value -17060018. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary

Maximum Value 8490556. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
 Minimum Value -59671272. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 6000 Ton

Output Set 17 - MSC/NASTRAN Case 1

From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 695)

Maximum Node ID = 33 Value = 0.04207
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 696)

Maximum Node ID = 27 Value = 0.00037213
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 669)

Maximum Element ID = 1 Value = 927959.
 Minimum Element ID = 9 Value = -319467.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 671)

Maximum Element ID = 7 Value = 249478.
 Minimum Element ID = 44 Value = -241226.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 670)

Maximum Element ID = 7 Value = 518182.
 Minimum Element ID = 8 Value = -318568.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 672)

Maximum Element ID = 44 Value = 139249.
 Minimum Element ID = 7 Value = -179856.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 673)

Maximum Element ID = 1 Value = 67178.1
 Minimum Element ID = 9 Value = -20848.8
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 675)

Maximum Element ID = 7 Value = 30666.8
 Minimum Element ID = 44 Value = -27176.8
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 674)

Maximum Element ID = 1 Value = 67178.1
 Minimum Element ID = 9 Value = -20848.8
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 676)

Maximum Element ID = 7 Value = 30666.8
 Minimum Element ID = 44 Value = -27176.8
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 677)
Maximum Element ID = 38 Value = 175376.
Minimum Element ID = 1 Value = -20277222.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 678)
Maximum Element ID = 38 Value = 175376.
Minimum Element ID = 1 Value = -20277222.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 679)
Maximum Element ID = 10 Value = 40869.
Minimum Element ID = 46 Value = -46389.4
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 680)
Maximum Element ID = 10 Value = 40869.
Minimum Element ID = 46 Value = -46389.4
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.04207 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.029177 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 20448416. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -20277222. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 10196266. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress
Minimum Value -70924176. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress

Load 7000 Ton

Output Set 13 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 527)
Maximum Node ID = 33 Value = 0.045408
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 528)
Maximum Node ID = 27 Value = 0.00038014
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 503)
Maximum Element ID = 7 Value = 299078.
Minimum Element ID = 44 Value = -288607.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 502)
Maximum Element ID = 7 Value = 611224.
Minimum Element ID = 8 Value = -400708.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 504)
Maximum Element ID = 44 Value = 168082.
Minimum Element ID = 7 Value = -219642.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 505)
Maximum Element ID = 1 Value = 74381.2
Minimum Element ID = 9 Value = -26749.9
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA P12 Shear Force (Model Vector 507)
Maximum Element ID = 7 Value = 37051.4
Minimum Element ID = 44 Value = -32620.7
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 506)
 Maximum Element ID = 1 Value = 74381.2
 Minimum Element ID = 9 Value = -26749.9
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 508)
 Maximum Element ID = 7 Value = 37051.4
 Minimum Element ID = 44 Value = -32620.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 509)
 Maximum Element ID = 38 Value = 205631.
 Minimum Element ID = 1 Value = -23594964.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 510)
 Maximum Element ID = 38 Value = 205631.
 Minimum Element ID = 1 Value = -23594964.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 511)
 Maximum Element ID = 10 Value = 40117.3
 Minimum Element ID = 46 Value = -47387.1
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 512)
 Maximum Element ID = 10 Value = 40117.3
 Minimum Element ID = 46 Value = -47387.1
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
 Maximum Value 0.045408 Output Vector 1 - Total Translation
 Minimum Value -0.034015 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
 Maximum Value 23789029. Output Vector 51 - Total Constraint Force
 Minimum Value -23594964. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
 Maximum Value 11955280. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
 Minimum Value -82528728. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 8000 Ton

Output Set 4 - MSC/NASTRAN Case 1
 From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 157)
 Maximum Node ID = 33 Value = 0.048928
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 158)
 Maximum Node ID = 27 Value = 0.00038816
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Planel Moment (Model Vector 131)
 Maximum Element ID = 1 Value = 1116576.
 Minimum Element ID = 9 Value = -484999.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 133)
 Maximum Element ID = 7 Value = 348678.
 Minimum Element ID = 44 Value = -335989.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Planel Moment (Model Vector 132)
 Maximum Element ID = 7 Value = 704266.
 Minimum Element ID = 8 Value = -482847.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 134)
Maximum Element ID = 44 Value = 196915.
Minimum Element ID = 7 Value = -259428.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 135)
Maximum Element ID = 8 Value = 84545.8
Minimum Element ID = 9 Value = -32651.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA P12 Shear Force (Model Vector 137)
Maximum Element ID = 7 Value = 43436.1
Minimum Element ID = 44 Value = -38064.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB P11 Shear Force (Model Vector 136)
Maximum Element ID = 8 Value = 84545.8
Minimum Element ID = 9 Value = -32651.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB P12 Shear Force (Model Vector 138)
Maximum Element ID = 7 Value = 43436.1
Minimum Element ID = 44 Value = -38064.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 139)
Maximum Element ID = 38 Value = 235886.
Minimum Element ID = 1 Value = -26912706.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 140)
Maximum Element ID = 38 Value = 235886.
Minimum Element ID = 1 Value = -26912706.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 141)
Maximum Element ID = 10 Value = 39365.7
Minimum Element ID = 46 Value = -48384.7
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 142)
Maximum Element ID = 10 Value = 39365.7
Minimum Element ID = 46 Value = -48384.7
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.048928 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.038854 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 27129645. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -26912706. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 13714294. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
Minimum Value -94133280. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 9000 Ton

Output Set 14 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 569)
Maximum Node ID = 33 Value = 0.05248
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 570)
Maximum Node ID = 27 Value = 0.00039595
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 543)
Maximum Element ID = 1 Value = 1208027.
Minimum Element ID = 9 Value = -565257.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 545)
Maximum Element ID = 7 Value = 396775.
Minimum Element ID = 44 Value = -381935.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 544)
Maximum Element ID = 7 Value = 794489.
Minimum Element ID = 8 Value = -562498.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 546)
Maximum Element ID = 44 Value = 224874.
Minimum Element ID = 7 Value = -298008.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 547)
Maximum Element ID = 8 Value = 96663.9
Minimum Element ID = 7 Value = -38549.8
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 549)
Maximum Element ID = 7 Value = 49627.3
Minimum Element ID = 44 Value = -43343.5
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 548)
Maximum Element ID = 8 Value = 96663.9
Minimum Element ID = 7 Value = -38549.8
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 550)
Maximum Element ID = 7 Value = 49627.3
Minimum Element ID = 44 Value = -43343.5
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 551)
Maximum Element ID = 38 Value = 265224.
Minimum Element ID = 1 Value = -30129910.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 552)
Maximum Element ID = 38 Value = 265224.
Minimum Element ID = 1 Value = -30129910.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 553)
Maximum Element ID = 10 Value = 38636.8
Minimum Element ID = 44 Value = -49770.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 554)
Maximum Element ID = 10 Value = 38636.8
Minimum Element ID = 44 Value = -49770.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.05248 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.043546 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 30369034. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -30129910. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 15420005. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
Minimum Value -105386184. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 10000 Ton

Output Set 15 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 611)
 Maximum Node ID = 33 Value = 0.056259
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 612)
 Maximum Node ID = 29 Value = 0.00040953
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement. Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Planel Moment (Model Vector 585)
 Maximum Element ID = 1 Value = 1302335.
 Minimum Element ID = 9 Value = -648023.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 587)
 Maximum Element ID = 7 Value = 446375.
 Minimum Element ID = 44 Value = -429317.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Planel Moment (Model Vector 586)
 Maximum Element ID = 7 Value = 887531.
 Minimum Element ID = 8 Value = -644638.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 588)
 Maximum Element ID = 44 Value = 253707.
 Minimum Element ID = 7 Value = -337794.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 589)
 Maximum Element ID = 8 Value = 109161.
 Minimum Element ID = 7 Value = -46152.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 591)
 Maximum Element ID = 7 Value = 56012.
 Minimum Element ID = 44 Value = -48787.5
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 590)
 Maximum Element ID = 8 Value = 109161.
 Minimum Element ID = 7 Value = -46152.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 592)
 Maximum Element ID = 7 Value = 56012.
 Minimum Element ID = 44 Value = -48787.5
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 593)
 Maximum Element ID = 38 Value = 295479.
 Minimum Element ID = 1 Value = -33447652.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 594)
 Maximum Element ID = 38 Value = 295479.
 Minimum Element ID = 1 Value = -33447652.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 595)
 Maximum Element ID = 10 Value = 37885.2
 Minimum Element ID = 44 Value = -51236.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 596)
 Maximum Element ID = 10 Value = 37885.2
 Minimum Element ID = 44 Value = -51236.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
 Maximum Value 0.056259 Output Vector 1 - Total Translation
 Minimum Value -0.048384 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
 Maximum Value 33709657. Output Vector 51 - Total Constraint Force
 Minimum Value -33447652. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
 Maximum Value 17179018. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress
 Minimum Value -116990736. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress

Load 11000 Ton

Output Set 16 - MSC/NASTRAN Case 1
 From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
 Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 653)
 Maximum Node ID = 33 Value = 0.060134
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 654)
 Maximum Node ID = 29 Value = 0.00043711
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 627)
 Maximum Element ID = 1 Value = 1396644.
 Minimum Element ID = 9 Value = -730788.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 629)
 Maximum Element ID = 7 Value = 495974.
 Minimum Element ID = 44 Value = -476699.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 628)
 Maximum Element ID = 7 Value = 980574.
 Minimum Element ID = 8 Value = -726777.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 630)
 Maximum Element ID = 44 Value = 282540.
 Minimum Element ID = 7 Value = -377580.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 631)
 Maximum Element ID = 8 Value = 121658.
 Minimum Element ID = 7 Value = -53755.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 633)
 Maximum Element ID = 7 Value = 62396.7
 Minimum Element ID = 44 Value = -54231.4
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 632)
 Maximum Element ID = 8 Value = 121658.
 Minimum Element ID = 7 Value = -53755.7
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 634)
 Maximum Element ID = 7 Value = 62396.7
 Minimum Element ID = 44 Value = -54231.4
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 635)
 Maximum Element ID = 38 Value = 325734.
 Minimum Element ID = 1 Value = -36765392.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 636)
 Maximum Element ID = 38 Value = 325734.
 Minimum Element ID = 1 Value = -36765392.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 637)
 Maximum Element ID = 10 Value = 37133.5
 Minimum Element ID = 44 Value = -52702.8
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 638)
 Maximum Element ID = 10 Value = 37133.5
 Minimum Element ID = 44 Value = -52702.8
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
 Maximum Value 0.060134 Output Vector 1 - Total Translation
 Minimum Value -0.053223 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
 Maximum Value 37050277. Output Vector 51 - Total Constraint Force
 Minimum Value -36765392. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
 Maximum Value 18938032. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress
 Minimum Value -128595296. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress

Load 12000 Ton

Output Set 8 - MSC/NASTRAN Case 1
 From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 317)
 Maximum Node ID = 33 Value = 0.063965
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 318)
 Maximum Node ID = 29 Value = 0.00046386
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 291)
 Maximum Element ID = 1 Value = 1488095.
 Minimum Element ID = 9 Value = -811046.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 293)
 Maximum Element ID = 7 Value = 544071.
 Minimum Element ID = 44 Value = -522645.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 292)
 Maximum Element ID = 7 Value = 1070796.
 Minimum Element ID = 8 Value = -806428.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 294)
 Maximum Element ID = 44 Value = 310500.
 Minimum Element ID = 7 Value = -416160.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 295)
 Maximum Element ID = 8 Value = 133776.
 Minimum Element ID = 7 Value = -61128.2
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 297)
Maximum Element ID = 7 Value = 68587.9
Minimum Element ID = 44 Value = -59510.3
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 296)
Maximum Element ID = 8 Value = 133776.
Minimum Element ID = 7 Value = -61128.2
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 298)
Maximum Element ID = 7 Value = 68587.9
Minimum Element ID = 44 Value = -59510.3
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 299)
Maximum Element ID = 38 Value = 355072.
Minimum Element ID = 1 Value = -39982600.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 300)
Maximum Element ID = 38 Value = 355072.
Minimum Element ID = 1 Value = -39982600.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 301)
Maximum Element ID = 10 Value = 36404.6
Minimum Element ID = 44 Value = -54124.4
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 302)
Maximum Element ID = 10 Value = 36404.6
Minimum Element ID = 44 Value = -54124.4
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.063965 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.057915 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 40289671. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -39982600. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 20643744. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress
Minimum Value -139848192. Output Vector 3139 - Beam EndA Ptl Comb Stress

Load 13000 Ton

Output Set 9 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 359)
Maximum Node ID = 33 Value = 0.06798
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 360)
Maximum Node ID = 29 Value = 0.00049147
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Planel Moment (Model Vector 333)
Maximum Element ID = 1 Value = 1582403.
Minimum Element ID = 9 Value = -893812.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 335)
Maximum Element ID = 7 Value = 593671.
Minimum Element ID = 44 Value = -570027.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Planel Moment (Model Vector 334)
Maximum Element ID = 7 Value = 1163839.
Minimum Element ID = 8 Value = -888567.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 336)
Maximum Element ID = 44 Value = 339333.
Minimum Element ID = 7 Value = -455946.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 337)
Maximum Element ID = 8 Value = 146273.
Minimum Element ID = 7 Value = -68731.2
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 339)
Maximum Element ID = 7 Value = 74972.6
Minimum Element ID = 44 Value = -64954.2
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 338)
Maximum Element ID = 8 Value = 146273.
Minimum Element ID = 7 Value = -68731.2
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 340)
Maximum Element ID = 7 Value = 74972.6
Minimum Element ID = 44 Value = -64954.2
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 341)
Maximum Element ID = 38 Value = 385327.
Minimum Element ID = 1 Value = -43300340.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 342)
Maximum Element ID = 38 Value = 385327.
Minimum Element ID = 1 Value = -43300340.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 343)
Maximum Element ID = 10 Value = 35653.
Minimum Element ID = 44 Value = -55590.5
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 344)
Maximum Element ID = 10 Value = 35653.
Minimum Element ID = 44 Value = -55590.5
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.06798 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.062753 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 43630293. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -43300340. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 22402758. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
Minimum Value -151452752. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 14000 Ton

Output Set 10 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 401)
Maximum Node ID = 33 Value = 0.07205
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 402)
Maximum Node ID = 29 Value = 0.00051909
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Planel Moment (Model Vector 375)
Maximum Element ID = 1 Value = 1676712.
Minimum Element ID = 9 Value = -976578.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 377)
Maximum Element ID = 7 Value = 643271.
Minimum Element ID = 44 Value = -617408.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Planel Moment (Model Vector 376)
Maximum Element ID = 7 Value = 1256881.
Minimum Element ID = 8 Value = -970707.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 378)
Maximum Element ID = 44 Value = 368166.
Minimum Element ID = 7 Value = -495731.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA Pl1 Shear Force (Model Vector 379)
Maximum Element ID = 8 Value = 158770.
Minimum Element ID = 7 Value = -76334.1
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 381)
Maximum Element ID = 7 Value = 81357.3
Minimum Element ID = 44 Value = -70398.1
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 380)
Maximum Element ID = 8 Value = 158770.
Minimum Element ID = 7 Value = -76334.1
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 382)
Maximum Element ID = 7 Value = 81357.3
Minimum Element ID = 44 Value = -70398.1
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 383)
Maximum Element ID = 38 Value = 415582.
Minimum Element ID = 1 Value = -46618084.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 384)
Maximum Element ID = 38 Value = 415582.
Minimum Element ID = 1 Value = -46618084.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 385)
Maximum Element ID = 11 Value = 35040.9
Minimum Element ID = 44 Value = -57056.5
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 386)
Maximum Element ID = 11 Value = 35040.9
Minimum Element ID = 44 Value = -57056.5
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.07205 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.067592 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 46970919. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -46618084. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 24161772. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
Minimum Value -163057296. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 15000 Ton

Output Set 11 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 443)
Maximum Node ID = 33 Value = 0.076165
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 444)
Maximum Node ID = 29 Value = 0.00054672
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 417)
Maximum Element ID = 1 Value = 1771020.
Minimum Element ID = 9 Value = -1059344.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 419)
Maximum Element ID = 7 Value = 692871.
Minimum Element ID = 44 Value = -664790.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 418)
Maximum Element ID = 7 Value = 1349923.
Minimum Element ID = 8 Value = -1052847.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 420)
Maximum Element ID = 44 Value = 396999.
Minimum Element ID = 7 Value = -535517.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 421)
Maximum Element ID = 8 Value = 171267.
Minimum Element ID = 7 Value = -83937.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3019 - Beam EndA P12 Shear Force (Model Vector 423)
Maximum Element ID = 7 Value = 87742.
Minimum Element ID = 44 Value = -75842.1
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3020 - Beam EndB P11 Shear Force (Model Vector 422)
Maximum Element ID = 8 Value = 171267.
Minimum Element ID = 7 Value = -83937.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3021 - Beam EndB P12 Shear Force (Model Vector 424)
Maximum Element ID = 7 Value = 87742.
Minimum Element ID = 44 Value = -75842.1
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 425)
Maximum Element ID = 38 Value = 445838.
Minimum Element ID = 1 Value = -49935824.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 426)
Maximum Element ID = 38 Value = 445838.
Minimum Element ID = 1 Value = -49935824.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 427)
Maximum Element ID = 11 Value = 34583.1
Minimum Element ID = 44 Value = -58522.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 428)
Maximum Element ID = 11 Value = 34583.1
Minimum Element ID = 44 Value = -58522.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary

Maximum Value 0.076165 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.072431 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary

Maximum Value 50311541. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -49935824. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary

Maximum Value 25920786. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
Minimum Value -174661856. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

Load 10000 Ton

Output Set 3 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 123)
Maximum Node ID = 7 Value = 0.16641
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 2 - T1 Translation (Model Vector 85)
Maximum Node ID = 35 Value = 0.077815
Minimum Node ID = 16 Value = -0.077787
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3 - T2 Translation (Model Vector 86)
Maximum Node ID = 35 Value = 0.027186
Minimum Node ID = 7 Value = -0.15818
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 4 - T3 Translation (Model Vector 87)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 27 Value = -0.052174
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 124)
Maximum Node ID = 7 Value = 0.002775
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 6 - R1 Rotation (Model Vector 88)
Maximum Node ID = 7 Value = 0.002775
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 7 - R2 Rotation (Model Vector 89)
Maximum Node ID = 20 Value = 0.0014899
Minimum Node ID = 39 Value = -0.0014899
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 8 - R3 Rotation (Model Vector 90)
Maximum Node ID = 13 Value = 0.0009623
Minimum Node ID = 26 Value = -0.00095078
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 97)
Maximum Element ID = 72 Value = 48073.6
Minimum Element ID = 44 Value = -4025293.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 99)
Maximum Element ID = 7 Value = 588521.
Minimum Element ID = 44 Value = -589761.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 98)
Maximum Element ID = 6 Value = 62300.4
Minimum Element ID = 1 Value = -1003894.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 100)
Maximum Element ID = 44 Value = 369065.
Minimum Element ID = 7 Value = -367684.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 101)
Maximum Element ID = 5 Value = 27212.6
Minimum Element ID = 44 Value = -228106.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 103)
Maximum Element ID = 7 Value = 68300.4
Minimum Element ID = 44 Value = -68487.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 102)
Maximum Element ID = 5 Value = 27212.6
Minimum Element ID = 44 Value = -228106.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 104)
Maximum Element ID = 7 Value = 68300.4
Minimum Element ID = 44 Value = -68487.6
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 105)
Maximum Element ID = 70 Value = 1066407.
Minimum Element ID = 7 Value = -37178260.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 106)
Maximum Element ID = 70 Value = 1066407.
Minimum Element ID = 7 Value = -37178260.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 107)
Maximum Element ID = 7 Value = 238492.
Minimum Element ID = 44 Value = -235925.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 108)
Maximum Element ID = 7 Value = 238492.
Minimum Element ID = 44 Value = -235925.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.16641 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.15818 Output Vector 3 - T2 Translation
Force Summary
Maximum Value 37545913. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -37178260. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Load 13000 Ton

Output Set 9 - MSC/NASTRAN Case 1
From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.
Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 375)
Maximum Node ID = 7 Value = 0.049609
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 2 - T1 Translation (Model Vector 337)
Maximum Node ID = 14 Value = 0.00057591
Minimum Node ID = 9 Value = -0.00057591
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3 - T2 Translation (Model Vector 338)
Maximum Node ID = 7 Value = 0.0009966
Minimum Node ID = 21 Value = -0.00031463
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 4 - T3 Translation (Model Vector 339)
Maximum Node ID = 1 Value = 0.
Minimum Node ID = 7 Value = -0.049599
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 376)
Maximum Node ID = 10 Value = 0.00019252
Minimum Node ID = 1 Value = 0.
Type = Displacement Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 6 - R1 Rotation (Model Vector 340)
Maximum Node ID = 20 Value = 0.00018028
Minimum Node ID = 10 Value = -0.00010285
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 7 - R2 Rotation (Model Vector 341)
Maximum Node ID = 10 Value = 0.00016274
Minimum Node ID = 15 Value = -0.00016274
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 8 - R3 Rotation (Model Vector 342)
Maximum Node ID = 16 Value = 0.0000019085
Minimum Node ID = 11 Value = -1.9085E-6
Type = Displacement Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3014 - Beam EndA Plane1 Moment (Model Vector 349)
Maximum Element ID = 5 Value = 194502.
Minimum Element ID = 19 Value = -146742.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3015 - Beam EndA Plane2 Moment (Model Vector 351)
Maximum Element ID = 13 Value = 143734.
Minimum Element ID = 7 Value = -143734.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3016 - Beam EndB Plane1 Moment (Model Vector 350)
Maximum Element ID = 22 Value = 183610.
Minimum Element ID = 19 Value = -81442.3
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3017 - Beam EndB Plane2 Moment (Model Vector 352)
Maximum Element ID = 10 Value = 144238.
Minimum Element ID = 16 Value = -144238.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3018 - Beam EndA P11 Shear Force (Model Vector 353)
Maximum Element ID = 5 Value = 10823.
Minimum Element ID = 4 Value = -8342.9
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3019 - Beam EndA Pl2 Shear Force (Model Vector 355)
Maximum Element ID = 15 Value = 5170.83
Minimum Element ID = 9 Value = -5170.83
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3020 - Beam EndB Pl1 Shear Force (Model Vector 354)
Maximum Element ID = 5 Value = 10823.
Minimum Element ID = 4 Value = -8342.9
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3021 - Beam EndB Pl2 Shear Force (Model Vector 356)
Maximum Element ID = 15 Value = 5170.83
Minimum Element ID = 9 Value = -5170.83
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force (Model Vector 357)
Maximum Element ID = 30 Value = 5002.33
Minimum Element ID = 5 Value = -128000000.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3023 - Beam EndB Axial Force (Model Vector 358)
Maximum Element ID = 30 Value = 5002.33
Minimum Element ID = 5 Value = -128000000.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3024 - Beam EndA Torque Force (Model Vector 359)
Maximum Element ID = 14 Value = 432.275
Minimum Element ID = 8 Value = -432.275
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Output Vector 3025 - Beam EndB Torque Force (Model Vector 360)
Maximum Element ID = 14 Value = 432.275
Minimum Element ID = 8 Value = -432.275
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y

Displacement Summary
Maximum Value 0.049609 Output Vector 1 - Total Translation
Minimum Value -0.049599 Output Vector 4 - T3 Translation

Force Summary
Maximum Value 76684385. Output Vector 51 - Total Constraint Force
Minimum Value -128000000. Output Vector 3022 - Beam EndA Axial Force

Stress Summary
Maximum Value 1163333. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress
Minimum Value -161168464. Output Vector 3139 - Beam EndA Pt1 Comb Stress

LAMPIRAN E

LEMBAR KONSULTASI



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Susi Fitriani
NOMOR POKOK : 4395 100 044
NAMA DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
TUGAS DIMULAI : 5 September 1999
TUGAS DISELESAIKAN : 5 Mei 2000
JUDUL TUGAS AKHIR :

Studi Pengaruh Geometri *Tripod* terhadap Kekuatan Struktur

| NO | TANGGAL | KONSULTASI MENGENAI | TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING |
|----|----------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 07/10/99 | Pendahuluan | <i>Dr. Rosyid</i> |
| 2 | 10/10/99 | Geometri struktur, Bab I | <i>Dr. Rosyid</i> |
| 3 | 20/10/99 | Beban gelombang dan <i>payload</i> | <i>Dr. Rosyid</i> |
| 4 | 06/12/99 | Software Msc-Nastran | <i>Dr. Rosyid</i> |
| 5 | 7/4/00 | Respon dan analisa struktur | <i>Dr. Rosyid</i> |
| 6 | 28/4/00 | Kesimpulan | <i>Dr. Rosyid</i> |
| 7 | 4 /5/00 | Selesai | <i>Dr. Rosyid</i> |



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Susi Fitriani
NOMOR POKOK : 4395 100 044
NAMA DOSEN PEMBIMBING : Ir. Yoyok Setyo Hadiwidodo
TUGAS DIMULAI : 5 September 1999
TUGAS DISELESAIKAN : 5 Mei 2000
JUDUL TUGAS AKHIR :

" Studi Pengaruh Variasi Geometri *Tripod* terhadap Kekuatan Struktur "

| NO | TANGGAL | KONSULTASI MENGENAI | TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING |
|----|----------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 07/10/99 | Pendahuluan | ✓ |
| 2 | 10/10/99 | Geometri struktur, Bab I | ✓ |
| 3 | 20/10/99 | Beban gelombang dan <i>payload</i> | ✓ |
| 4 | 06/12/99 | Software Msc-Nastran | ✓ |
| 6 | 1/4/00 | Kesimpulan | ✓ |
| 7 | 4 /5/00 | Selesai | ✓ |